



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM FILOSOFIA

TEORIAS DA LUZ NA CIÊNCIA MODERNA
Exame do método na Óptica de Descartes e Newton

RUSLANE BIÃO DE OLIVEIRA

Brasília, novembro/2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM FILOSOFIA

TEORIAS DA LUZ NA CIÊNCIA MODERNA
Exame do método na Óptica de Descartes e Newton

RUSLANE BIÃO DE OLIVEIRA

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Filosofia, da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Doutora, sob orientação do Prof. Dr. Samuel José Simon Rodrigues

Brasília, novembro/2022

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Samuel J. Simon (Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Filosofia-PPG-FIL-UnB

Prof. Dr. Agnaldo Cuoco Portugal

Programa de Pós-Graduação em Filosofia-PPG-FIL-UnB

Prof. Dr. Eduardo Salles O. Barra

Programa de Pós-Graduação em Filosofia-PGFILOS-UFPR

Prof. Dr. Jorge Alberto Molina

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS-Unidade São Luiz Gonzaga

AGRADECIMENTOS

Ao professor Samuel Simon, pela dedicada orientação ao longo de minha formação,
desde o mestrado até o presente doutorado.

Aos membros da banca de avaliação, os professores Agnaldo Cuoco Portugal,
Eduardo Salles O. Barra e Jorge Alberto Molina,
pela disposição intelectual para ler esta tese.

Ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da UnB, pelo constante
acompanhamento durante o curso.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFAL, pelo suporte financeiro.

À minha mãe Dulcineia Bião, *in memoriam*.

Ao meu filho Davi Bião, por sua doce e incondicional companhia.

RESUMO

O método, de uma forma geral, traz consigo a ideia de que seus procedimentos constituem toda a arte da descoberta e que, por definição, utiliza a combinação de análise e síntese para dar certeza ao conhecimento. Ao constatar essa combinação, observou-se um confronto aceitável entre indução e dedução, suas consequências problemáticas na prática científica e seus desdobramentos em diferentes tradições. Para isto, o Capítulo 1 – Antecedentes histórico-filosóficos da física óptica -, buscou abordar a filiação histórica de importantes tradições das ciências ópticas, mostrando como se deu a passagem da óptica geométrica para a física óptica; o Capítulo 2 – O espaço infinito no conceito de extensão da filosofia moderna -, conectou o problema da extensão, nas ciências mecânicas, aos desdobramentos conceituais de espaço e lugar na explicação do movimento. Enquanto o Capítulo 3 – Descartes: Filosofia, Física e Metafísica -, elaborou uma ideia sobre a Filosofia como um saber geral, mostrando como a Física se estabelece a partir das leis de movimento e como a Metafísica formula seu critério de certeza, na relação objetiva entre sujeito e objeto de conhecimento; o Capítulo 4 – Newton: Filosofia, Física e Metafísica -, por sua vez, buscou definir o método experimental como essência da Filosofia, sendo as leis do movimento princípios da Física, a ação criadora de Deus o fundamento metafísico da Causa Primeira inseparável da natureza. Porém, ao atingir a compreensão do importante papel da matemática e da experiência, na formulação e execução do método de análise e síntese, o Capítulo 5 – O método de análise e síntese na *Dióptrica* de Descartes, e o Capítulo 6 – O método de análise e síntese na *Óptica* de Newton-, cumpriram o propósito de examinar a estrutura exegética do método, no projeto dessas importantes teorias da luz.

PALAVRAS-CHAVE: método; análise e síntese; demonstração; óptica; lei de refração.

ABSTRACT

The method, in general, carries with it the idea that its procedures constitute the whole art of discovery and that, by definition, it uses the combination of analysis and synthesis to give certainty to knowledge. In noting this combination, an acceptable confrontation between induction and deduction was observed, their problematic consequences in scientific practice and their unfolding in different traditions. To this the Chapter 1 - Historical-philosophical antecedents of optical physics -, sought to address the historical affiliation of important traditions of optical sciences, showing how the passage from geometrical optics to optical physics took place; Chapter 2 - Infinite space in the concept of extension in modern philosophy -, connected the problem of extension, in the mechanical sciences, to the conceptual unfoldings of space and place in the explanation of motion. While Chapter 3 - Descartes: Philosophy, Physics and Metaphysics -, elaborated an idea about Philosophy as a general knowledge, showing how Physics is established from the laws of motion and how Metaphysics formulates its criterion of certainty, in the objective relationship between subject and object of knowledge; the Chapter 4 - Newton: Philosophy, Physics and Metaphysics -, in its turn sought to define the experimental method as the essence of Philosophy, the laws of motion being principles of Physics, the creative action of God the metaphysical foundation of the First Cause inseparable from nature. However, upon reaching the understanding of the important role of mathematics and experience in the formulation and execution of the method of analysis and synthesis, the Chapter 5 - The method of analysis and synthesis in Descartes' *Dioptrics*, and Chapter 6 - The method of analysis and synthesis in Newton's *Optics*-, fulfilled the purpose of examining the exegetical structure of the method, in the design of these important theories of light.

KEYWORDS: method; analysis and synthesis; demonstration; optics; law of refraction.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
PARTE I: INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS HISTÓRICOS E FILOSÓFICOS	
CAPÍTULO 1 - Antecedentes histórico-filosóficos da física óptica	10
1.1) Distinção entre óptica geométrica e física óptica.....	10
1.2) O arco-íris como objeto da óptica geométrica.....	22
1.3) O nascimento da física óptica.....	27
CAPÍTULO 2 - O espaço infinito no conceito de extensão da Filosofia moderna	34
2.1) O conceito de infinito na astronomia renascentista.....	34
2.2) O conceito de infinito na astronomia moderna.....	43
2.3) Problemas do conceito de infinito em Descartes.....	48
PARTE II: PENSAMENTO CIENTÍFICO EM DESCARTES E NEWTON	
CAPÍTULO 3 - Descartes: Filosofia, Física e Metafísica	63
3.1) O significado da Filosofia cartesiana.....	63
3.2) O desenvolvimento da Metafísica cartesiana.....	76
3.3) O desenvolvimento da Física cartesiana.....	88
CAPÍTULO 4 - Newton: Filosofia, Física e Metafísica	96
4.1) O significado da Filosofia newtoniana.....	96
4.2) O desenvolvimento da Metafísica newtoniana.....	104
4.3) O desenvolvimento da Física newtoniana.....	119
PARTE III: O MÉTODO NA FÍSICA ÓPTICA DE DESCARTES E NEWTON	
CAPÍTULO 5 - O método de análise e síntese na <i>Dióptrica</i> de Descartes	129
5.1) O método de análise e síntese no raciocínio matemático.....	130
5.2) O método de análise e síntese na <i>Dióptrica</i>	150
5.3) Experiência e Matemática na <i>Dióptrica</i>	178
CAPÍTULO 6 - O método de análise e síntese na <i>Óptica</i> de Newton	186
6.1) O método de análise e síntese no raciocínio matemático.....	186
6.2) O método de análise e síntese na <i>Óptica</i> de Newton.....	191

6.3) Experiência e Matemática na <i>Óptica</i>	209
CONCLUSÃO GERAL	215
BIBLIOGRAFIA	226

INTRODUÇÃO GERAL

A forma como Descartes e Newton se apropriam do método de análise e síntese caracteriza uma importante incursão em torno da qual diferentes tradições trazem à tona problemas que indicam confusão em seu significado. A filiação histórica herdada por esses filósofos mostra que a origem do método, na tradição Matemática dos antigos, revela-se numa formulação decisiva. Ao tratar da física óptica como conquista expressiva da Física mecânica, Descartes e Newton trazem para o interior de suas teorias ópticas um estudo elaborado em bases distintas, cada um produzindo, de forma singular, um sistema de conhecimento essencial para sustentar suas teorias. Para o momento, problematizar a existência de diferentes definições para análise e síntese em Geometria, Epistemologia e Lógica, é antes uma forma de delimitar a prática científica que emergiu a partir da ideia de método, tanto em Descartes quanto em Newton. Uma importante distinção deve ser feita entre essas definições para que se entenda seu significado matemático e epistêmico, presente na física óptica de ambos, segundo o que esta tese mostra em sua abordagem.

Ao confrontar os significados contraditórios que se atribuem a análise e síntese, observa-se, segundo Cariou, uma visão confusa sobre esses conceitos: “[...] o uso desses termos em Geometria, metodologia (com indução/dedução ou resolução/composição) e retórica (com invenção/julgamento), nas discussões sobre o ‘método’, comumente misturam esses procedimentos sem diferenciá-los claramente” (2019, p. 89)¹. Cariou e Oldroyd esclarecem que essa confusão só ocorre quando se fundem os procedimentos de análise e síntese no método, na lógica e na Geometria sem antes esclarecer como são suas operações em cada uma dessas áreas. Ou melhor, o problema consiste na identificação entre indução e análise, dedução e síntese, quando não se esclarece sua apropriação por diferentes tradições. Mas, na Geometria por exemplo, é preciso considerar o modo como Pappus se apropria dos procedimentos de análise e síntese:

¹ “[...] l’usage de ces termes en géométrie, en méthodologie (avec induction/ déduction ou résolution/composition) et en rhétorique (avec invention/ jugement), les discussions sur la ‘méthode’ mêlant communément ces procédures sans les différencier clairement”. Segundo Cariou (Cf. 2019, pp. 90-4), apesar das confusões em torno desse assunto, alguns medievais como Abelardo, Alberto Magno e São Tomás de Aquino, atribuem à análise o significado de juízo, à síntese o de descoberta, o que foi contestado por Ockham, Grosseteste, Galeno, Haly e o próprio Descartes. Entretanto, Leibniz junta o significado de análise ao juízo, de síntese à invenção, o que dará origem à definição de juízos analíticos e sintéticos em Kant.

[...] deve-se notar que os procedimentos, nas fases analítica e sintética do processo de raciocínio, eram ambos *dedutivos*; nenhum foi indutivo. Então não podemos identificar diretamente indução com análise, e dedução com síntese - de acordo com a tradição geométrica aqui estabelecida por Pappus (OLDROYD, 1986, p. 27; grifo do autor)².

A tradição Matemática, em especial a de Euclides e Pappus, mostra que análise e síntese são operações dedutivas. Mas quando se trata de juntar essas operações no “método” científico, todo o cuidado deve ser tomado, pois o método indutivo é essencialmente experimental, ao passo que o dedutivo é essencialmente racional. Entretanto, as confusões em torno da retórica ou da lógica fogem do objetivo principal para essa ocasião, que é o de mostrar a impossibilidade de se juntar análise na indução e síntese na dedução quando se combina o método da tradição geométrica com o da prática científica em Descartes e Newton. É importante considerar que o método constrói o saber da ciência, mas a análise e síntese geométricas fornecem seus instrumentos para sua estrutura argumentativa.

A origem dessa confusão pode ter nascido da interpretação dos *Analíticos* de Aristóteles, porém, o silogismo aristotélico mostra a existência de categorias que limitam a indução a descrever os fatos, dos efeitos às causas, mas sem valor explicativo, pois este é o caso da dedução que, por definição, é demonstrativa. Esta é uma observação que, segundo Cariou (2019, p. 84), define a análise aristotélica como “silogismo do fato”, que gera conclusões válidas, mas sem valor explicativo, ao contrário da síntese.

Na tradição geométrica, com efeito, a análise é demonstrativa, mesmo remontando uma explicação dos efeitos às causas: “*Análise* [...] toma o que se busca como se fosse admitido e dele passa por suas sucessivas consequências a algo que se admite como resultado da síntese: pois na análise assumimos o que se busca como se (já) estivesse dado” (PAPPUS, *apud in* OLDROYD, 1986, p. 27; grifo do autor)³. Se o dado admitido é o ponto de partida da análise, logo, a demonstração resulta desse dado assumido como princípio e a partir dele se deduz consequências. Assim, esta tese procura dar ênfase aos problemas que cercam o método de análise e síntese, tanto em Descartes quanto em Newton, mas é a partir da tradição geométrica que ambos os filósofos cientistas produzem conhecimento na física óptica.

² “[...] it should be noted that the procedures in the analytic and synthetic phases of the reasoning process were both *deductive*; neither was inductive. So we cannot - according to the geometrical tradition laid down here by Pappus - directly identify induction with analysis, and deduction with synthesis”.

³ “[...] *Analysis* ... takes that which is sought as if it were admitted and passes from it through its successive consequences to something which is admitted as the result of synthesis: for in analysis we assume that which is sought as if it were (already) done”.

Ademais, os problemas que giram em torno do método científico é o que deve ser problematizado e avaliado quando executado na prática científica.

Com isso, o problema do método ganha outra proporção quando se examina aqui sua execução, segundo o que pensa Descartes e Newton, mas sob a motivação do que foi pensado em dissertação de mestrado, onde foi realizado um trabalho exegético sobre o método de análise e síntese, apenas em Descartes, num caso mais específico, o fenômeno do arco-íris, objeto de investigação do Discurso Oitavo dos *Meteoros*⁴. Nessa exegese, um exame de todas as etapas do método mostrou o significado da prática científica cartesiana. Com isso, a necessidade de se aprofundar na óptica cartesiana despertou um interesse definitivo, uma vez que o arco-íris, como efeito óptico da refração, tem sua explicação formulada na *Dióptrica*, que assume grande importância na determinação da lei de refração, base da explicação do espectro colorido. Há, entre alguns dos estudiosos da filosofia da ciência, uma discussão problemática sobre o papel da experiência na ciência cartesiana, e isso, naturalmente, orientou o debate temático desta tese, dando destaque ao método de análise e síntese em Descartes e Newton, que praticou o mesmo método, mas com significado bem mais particular. Tendo Newton como a principal referência de uma ciência experimental bastante sistematizada, nasceu então a necessidade de se levantar o problema do método em ambos os filósofos cientistas, a partir de um recorte teórico entre a diferença existente nos dois sistemas, em especial, um estudo sobre o método científico em suas teorias da luz.

Portanto, fazer história e Filosofia da ciência compele a um esforço cuidadoso para investigar e compreender as circunstâncias que determinam o pensamento científico dos filósofos em questão. O fio condutor da história deve ter o propósito de ajustar a cronologia de uma doutrina à cultura geral, na importante condição de mostrar a filiação doutrinária entre diferentes pensadores. Dessa maneira, torna-se necessário refletir sobre quais bases a própria ciência buscou seu fundamento, sobre como a história do pensamento científico desafia os problemas remanescentes da ciência ao mostrar soluções que possam atender satisfatoriamente aquilo que transitoriamente não teve resposta. Sabe-se que é possível identificar boa parte das dificuldades da cultura científica quando nelas se investigam os recortes epistêmicos de diferentes teorias científicas. Porém, não se pode elaborar uma investigação das teorias da luz,

⁴ Minha dissertação foi defendida sob o título *Exame da demonstração cartesiana: da explicação à prova no fenômeno do arco-íris*, em 2004, para a conclusão do curso de mestrado neste mesmo Programa de Pós-Graduação em Filosofia.

na ciência moderna, sem antes examinar o modo como elas se conceberam e foram tratadas no passado. Por essa razão, a necessidade de se fazer um recorte histórico e filosófico na ciência moderna foi decisiva, por orientar a pesquisa sobre o que foi pensado nas teorias da luz de Descartes e Newton, à luz da prática científica do passado que, de alguma maneira, foi determinante na fundamentação da Óptica.

De início, foi preferível fazer uma introdução aos conceitos históricos e filosóficos da ciência Óptica: no Capítulo 1 - Antecedentes histórico-filosóficos da física óptica –, buscou-se desenvolver, a partir da *Distinção entre óptica geométrica e física óptica*, uma abordagem sobre a teoria da visão sensitiva de Ptolomeu, essencialmente geométrica, pela razão histórica de corrigir os problemas experimentais da Óptica de Aristóteles; sua tentativa era o de resolver o problema dos efeitos visuais do fenômeno luminoso; o processo de evolução dessa teoria, com Alhazen, físico árabe que forneceu os elementos constitutivos para a descoberta da lei de refração, deve-se a formulação de critérios experimentais para o fenômeno luminoso e assim tentar ajustar os problemas da Geometria Óptica deixados por Ptolomeu e Euclides. Em seguida, na seção *O arco-íris como objeto da óptica geométrica*, buscou-se examinar o problema da cor na Geometria Óptica, que serviu de base para compreender sua passagem evolutiva para a física óptica, estabelecendo a distinção teórica entre Alhazen, Roger Bacon, Grosseteste e Vitelo, para assim se chegar a Kepler. Este, contudo, ao examinar o arco-íris, deixou em aberto a discussão sobre a causa da cor e formação desse fenômeno luminoso, marcando a transição da física óptica a partir de sua contribuição. Já a seção seguinte, *O nascimento da física óptica*, tentou-se mostrar que sua elaboração e seus resultados só foram estabelecidos a partir do que se pensou em geometria óptica, mostrando que Descartes, por exemplo, precisou desenvolver o conceito de curva anaclástica, a partir do conceito de hipérbole de Kepler, e Newton, para desenvolver a lei da reciprocidade do raio luminoso, buscou, em Alhazen, o estudo experimental que mede a proporcionalidade desse fenômeno luminoso.

No Capítulo 2 - O espaço infinito no conceito de extensão da Filosofia moderna-, optou-se por fazer uma abordagem sob uma perspectiva introdutória aos conceitos da astronomia do período renascentista, ou seja, uma introdução à aceitação do conceito de espaço infinito no conceito de extensão dos modernos. Para isso, foi necessário iniciar a seção *O conceito de infinito na astronomia renascentista* para entender como esse conceito foi pensado na época. Dessa forma, tem-se o objetivo de mostrar o modo como a noção de infinito foi aceita ou rejeitada, a partir de Nicolau de Cusa, Copérnico e Giordano Bruno. Por

um lado, a descentralização do mundo proposta por Nicolau de Cusa se mostrou bem recebida por Giordano Bruno; por outro, apesar de Giordano Bruno aceitar o heliocentrismo copernicano, rejeita, desta teoria, a noção de mundo finito, quando estabelece a distinção entre universo e mundo, e desenvolve uma cosmologia mística, utilizada para afirmar a possibilidade de mundos infinitos. Na seção *O conceito de infinito na astronomia moderna*, buscou-se examinar a noção de infinito a partir dos argumentos lógicos de Kepler contra a possibilidade de infinitos mundos; a astronomia, a partir dele, se estabelece como conhecimento observacional do visível e, desse modo, Kepler não só desenvolve uma teoria do mundo finito, mas corrige o movimento copernicano dos orbes, dando um salto em direção à uma teoria do movimento elíptico dos planetas, através da harmonia entre cálculos matemáticos e observação. Por sua vez, o avanço da astronomia se destaca com o aperfeiçoamento do telescópio que Galileu fabrica, realizando descobertas excepcionais em relação aos planetas, à Lua e ao Sol, contribuindo, de forma significativa, para o desenvolvimento de uma ciência empírica, embora sua concepção de movimento dos orbes ainda permaneça fundamentada na teoria heliocêntrica de Copérnico; no entanto, ele e Descartes permanecem inseguros ao adotar a concepção de mundo infinito. Com isso, a seção sobre os *Problemas do conceito de infinito em Descartes*, coloca em evidência a querela sobre a concepção de extensão e sua implicação na concepção de infinito. Particularmente, na correspondência com Henry More, Descartes permanece resolutivo na definição de substância divina, e, ao mesmo tempo, estabelece uma definição de extensão que se reflete na difícil solução para o problema do infinito.

Já o Capítulo 3 – Descartes: Filosofia, Física e Metafísica -, é norteado pela concepção de Filosofia que reúne, no mesmo conjunto, várias ciências e seus diversos objetos. Particularmente, Descartes busca exercer domínio sobre vários objetos da ciência, mediante a difícil dedicação ao conhecimento como um todo, pois, a primeira seção desse capítulo, *O significado da Filosofia cartesiana*, gira em torno da ideia de que a Filosofia agrega, num único corpo, várias ciências sustentadas pela Metafísica; há então a necessidade de explicar o sentido usual do termo “Filosofia” em contraste com o sentido compreendido pelo filósofo a partir da metáfora da árvore da Filosofia elaborada nos *Princípios*. Nesta obra, Descartes descreve a real caracterização de um sistema filosófico unificado, isto é, de um sistema que oferece o conhecimento mais perfeito de todas as coisas, um método universal capaz de resolver os problemas de todos os objetos das ciências – basicamente da Física à Matemática e demais ciências -, segundo a ordem e a medida. No entanto, a cronologia da obra cartesiana coloca um problema: se os princípios metafísicos são essenciais para a fundamentação da

ciência, pergunta-se por que Descartes não os estabeleceu antes mesmo de produzir sua ciência? Esta questão torna-se preocupante se não for compreendido o significado de Metafísica na Física cartesiana; ao compreender, essa questão torna-se irrelevante, ao menos se forem seguidos os vestígios metafísicos que ele deixou ao longo de sua obra científica. Portanto, a seção *O desenvolvimento da Metafísica cartesiana* busca mostrar que, mesmo havendo anacronismo na obra cartesiana, as regras da razão, por si só, executam um trabalho metafísico quando inclui noções de verdade, causalidade e realidade para explicar a existência de objetos fora da mente; e mais do que isto, estabelece relações objetivas entre sujeito e objeto de conhecimento. Na terceira seção, *O desenvolvimento da Física cartesiana*, busca-se contornar a questão cronológica da obra de Descartes quando ele estabelece a relação entre o objeto da Física e conceitos metafísicos elaborados em *O mundo ou Tratado da luz*, obra extremamente sistemática, produzida antes mesmo das *Meditações* e dos *Princípios*, composições posteriores à execução da ciência propriamente dita. Os vestígios metafísicos tornam-se visíveis quando Descartes estabelece as três leis do movimento, seu princípio de criação e conservação, no *Tratado da luz*. A conservação do movimento deriva do princípio de imutabilidade divina, que pressupõe certa quantidade de movimento de cada matéria em particular. Essas leis, por sua vez, são fornecidas para produzir o conhecimento de todos os objetos da ciência e para a compreensão mecânica do mundo. Aplicando o princípio de criação e conservação do mundo, têm-se a ideia de que a mecânica dos corpos é garantida por uma Metafísica subliminar, se for entendido por isto uma concepção que subtende os objetos físicos, já que os princípios metafísicos são sistematicamente estabelecidos depois da formulação da obra científica.

No Capítulo 4 – Newton: Filosofia, Física e Metafísica -, buscou-se compreender como Newton desenvolveu seu sistema. Há, entretanto, uma dificuldade de separar Filosofia, Física e Metafísica, pois Newton não as organiza no conjunto de sua obra. Ao declarar abertamente a primazia da ciência experimental sobre o conhecimento, o corpo filosófico se apresenta de modo muito disperso no interior da obra. Assim, constatou-se que, na seção *O significado da Filosofia newtoniana*, há a construção de um saber nas ciências naturais, cuja essência Matemática permite elaborar uma interpretação filosófica da natureza. Mas a essência da Filosofia pode ser pensada a partir do modo como Newton se apropria dos fenômenos naturais, não só estabelecendo seus princípios matemáticos, mas também concebendo um método experimental capaz de demonstrar a ordem e situação em que os fenômenos naturais aparecem. Ao delimitar a Filosofia natural a partir dos “fenômenos do

movimento” e das “forças da natureza”, surge a necessidade de se pensar a elaboração ou execução de um método experimental, que, de forma sistemática e rigorosa, foi capaz de demonstrar em que circunstâncias os fenômenos naturais são investigados. Se da Matemática é possível produzir uma interpretação filosófica da natureza, considerando a Matemática como essência da Filosofia natural, o método experimental pode constituir um modo de ser natural das ciências empíricas, podendo também se revelar como um objeto filosófico essencial ao conhecimento da natureza. A seção *O desenvolvimento da Metafísica newtoniana* se inicia com um estudo sobre um manuscrito de sua juventude, *De gravitatione*, onde Newton cria uma teoria da substância ao criticar a Metafísica cartesiana. Para contestar o conceito de extensão de Descartes, Newton desenvolve os conceitos de espaço e lugar para mostrar que não há possibilidade de aceitar a extensão como substância, pois, em seu elaborado argumento para se conceber uma substância, define a capacidade de ação e criação como essenciais para sua concepção. A partir deste entendimento, só a substância divina tem a capacidade de agir e criar outras substâncias, sendo a extensão apenas um efeito “emanativo” de Deus na natureza. Por outro lado, a seção *O desenvolvimento da Física newtoniana* é constituído, basicamente, da formulação dos conceitos de massa, movimento e força, segundo a ordem e sucessão do tempo e do espaço. A partir dessa formulação, Newton elabora uma Física mecânica onde medidas absolutas e relativas fazem parte de um projeto de ciência arrojado. Ao desenvolver seu sistema físico, foi capaz de romper com a tradição cartesiana, cujos conceitos de pressão, força e movimento foram radicalmente modificados com a introdução dos conceitos de vazio e gravidade.

Após as noções introdutórias para a definição do pensamento científico de Descartes e Newton, para a compreensão fundamental da distinção conceitual entre eles, o centro do objeto dessa pesquisa, que é o exame do método na Óptica de Descartes e Newton, começa a se desenvolver.

No Capítulo 5 - O método de análise e síntese na *Dióptrica* de Descartes -, inicialmente se apresenta como uma pesquisa sobre a origem do pensamento metódico, na seção *O método de análise e síntese no raciocínio matemático*, quando se constitui uma discussão sobre a preferência de escolher o que há de melhor da álgebra e da Geometria, sob a perspectiva dos matemáticos antigos, sendo Diofanto representante da aritmética e Pappus da Geometria analítica. Com eles, Descartes entende que a disciplina universal é essencial na orientação cognitiva do pensamento, onde intuição e dedução tornam-se suficientes para abrir

o caminho do conhecimento e assegurar a verdade. Com a referência dos antigos, então, Descartes inaugura sua Geometria analítica que, por suas etapas demonstrativas, configura a ordenação do método de análise e síntese. Já na seção *O método de análise e síntese na Dióptrica*, optou-se por desenvolver um exame exegético nos dez Discursos da obra, examinando cada etapa demonstrativa e seus respectivos significados científicos. Constatou-se, portanto, a necessidade de avaliar se análise e síntese possuem validade epistêmica tanto na geometria quanto na física óptica de Descartes. Ademais, a seção *Experiência e Matemática na Dióptrica* abre uma discussão sobre o valor epistêmico da percepção sensível, num sistema que dá primazia ao conhecimento dedutivo, já que o rigor matemático exige a subordinação da experiência às regras do raciocínio.

O Capítulo 6 - O método de análise e síntese na *Óptica* de Newton –, iniciou-se com a seção *O método de análise e síntese no raciocínio matemático*, onde se buscou introduzir um estudo sobre os conceitos de análise e síntese, que possuem significados matemáticos importantes para a compreensão de sua utilização na *Óptica*; a *Aritmética*, portanto, terá importância significativa para a interpretação desses conceitos, na teoria da luz de Newton. Por sua vez, a seção *O método de análise e síntese nos Livros I e II da Óptica* se buscou fazer um estudo desses conceitos, para então elucidar seu significado e sua aplicação nos assuntos de uma *Óptica* essencialmente experimental, mostrando a importância da indissociabilidade da análise e síntese na prática científica; há de se considerar que importantes modificações, tanto na *Óptica* quanto nos *Principia*, dificultam a compreensão do seu real significado, sendo necessário conduzir um enfrentamento teórico entre alguns de seus intérpretes. Com o desenvolvimento da seção *Experiência e Matemática na Óptica*, buscou-se elucidar os problemas de adequação entre experiência e Matemática para ressaltar a importância de se compreender o significado de “demonstração e prova”, suas implicações na estrutura da argumentação indutiva, sua função cognitiva na interação com a observação e experiências, a partir do qual a aplicação de leis físico-matemáticas do mundo visível está associada.

Chegou-se então à conclusão de que a execução do método de análise e síntese, tanto em Descartes quanto em Newton, traz consigo um significado didático, pois ensina quais são as etapas a seguir na elaboração do conhecimento. Verificou-se também que ambos possuem estruturas diferentes, apesar de terem filiação história na tradição da Geometria analítica. Entretanto, para Descartes, a construção de um sistema fundamentado na “ordem” e na “medida” obedece a um rigor essencial para a construção do conhecimento, seguindo, paulatinamente, todas as etapas do método de análise e síntese como regras de pensamento.

Com isso, a física óptica, ante a delimitação epistêmica da percepção sensível, faz avanços significativos, mas que, em contrapartida, sacrifica essa percepção para assim conservar a superioridade da razão.

Em Newton, observou-se algumas imprecisões conceituais, especialmente quando se unifica o significado matemático de análise à indução. É um aspecto problemático, sem, no entanto, significar um prejuízo que seja expressivo para a física óptica moderna. Mas, ainda assim, há um abandono daquilo que ele diz executar na Questão 31 da *Óptica*: o método de análise e síntese análogo ao da matemática. Provocando uma intensa repercussão entre seus interlocutores, Newton busca contornar esse problema com sucessivas revisões das edições tanto dos *Principia* quanto da *Óptica*. E, como experimentador, nos convence de que suas exaustivas experiências dão conta de parte dos efeitos do fenômeno luminoso, mesmo não explicando com clareza a forma como ele unifica análise à indução.

PARTE I: INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS HISTÓRICOS E FILOSÓFICOS

CAPÍTULO 1 - Antecedentes histórico-filosóficos da física óptica

1.1) Distinção entre óptica geométrica e física óptica

A luz e seus fenômenos luminosos despertam o interesse dos filósofos cientistas, por assim dizer, há milênios. No afã de investigar não só a essência, mas os efeitos que emanam da ação da luz, vários pensadores fizeram da Óptica uma ciência que se inicia como uma Física geométrica. Após isto, se desenvolveu a física óptica, que teve seu apogeu apenas no século XVII, cuja passagem da física geométrica à física óptica preencheu um conjunto de teorias físicas da luz que se assenta a partir do problema da sensação visual. Portanto, dar crédito aos cientistas do passado oferece a vantagem de apresentar um panorama explicativo, onde a evolução histórica das ciências se ajusta à cultural geral, que é uma admirável amiga da sabedoria filosófica. Dito isto: “Se o historiador não conhece minuciosamente a orientação da mentalidade das épocas que ele estuda, se ele se contenta em observar rapidamente algumas semelhanças marcantes das quais ignorará o alcance, ele se condenará ao ignorar a filiação histórica das doutrinas que não temos que examinar hoje” (METZGER, 1987, p. 87)⁵.

O processo evolutivo da Óptica como Física geométrica, vale destacar, teve seu início com a investigação da reflexão e refração como propriedades essenciais da luz. O fenômeno luminoso é tomado como objeto de grande interesse de Ptolomeu (161 d.C.), que estabeleceu o índice de refração a partir da passagem ou mudança dos raios luminosos para diversos meios transparentes. Para Ptolomeu, a cor é o sentido próprio da visão a partir do qual o fluxo visual, como uma espécie particular de luz, permite sua percepção. Blay (2007, p. 120) afirma que a ideia de raios visuais de Euclides (300 a.C.) tem sua formulação efetiva com Ptolomeu e será a partir deste que todos os estudos geométricos dos fenômenos luminosos e da sensação visual terão constituição geométrica, sobretudo com os cientistas árabes⁶.

⁵ “Si l’historien ne connaît pas à fond l’orientation de la mentalité des époques qu’il étudie, s’il se contente de noter rapidement quelques ressemblances frappantes dont il ignorera la portée, il se condamnera lui-même à ignorer la filiation historique des doctrines que nous n’avons pas à examiner aujourd’hui”.

⁶ A ideia de fluxo visual de Ptolomeu pressupõe a existência da emissão de luz oriunda do próprio olho, formando o que ele chama de cone visual, com seu vértice no centro do olho. Nesse sentido, esse fluxo tem emissão contínua e age juntamente com a luz natural para abranger os objetos visíveis através de seus raios

Em princípio, parte-se da necessidade de se fazer uma abordagem dos antecessores de Ibn al-Haytham (965-1039), mais conhecido por Alhazen, seu nome latino, sendo ele responsável pelo resgate e aperfeiçoamento da Óptica de Ptolomeu, para depois abordar seus sucessores e assim chegar ao objeto desta tese, investigar os procedimentos com os quais se aplicam o método de análise e síntese em Descartes e Newton; assim, far-se-á não somente necessário elucidar os conceitos que definem o método, mas também a necessidade de explicar como esses conceitos explicam a natureza da luz, suas consequências ontológicas, epistemológicas e mecânicas, nos sistemas de Descartes e Newton.

Para se ter uma compreensão do que ocorre com a Óptica alhacênica, deve-se antes circunscrevê-la a partir do que pensou Ptolomeu sobre a refração. Mais conhecido no campo da Astronomia, sobretudo pelo seu principal tratado, o *Almagesto*, Ptolomeu elaborou estudos importantes no campo da Óptica, cujos resultados foram bastante significativos, embora pouco reconhecidos pelos cientistas modernos⁷.

Segundo Lejeune (*apud in* PTOLÉMÉE, 1989, p. 33), o progresso da Óptica moderna fez da Óptica de Ptolomeu objeto de interesse puramente histórico⁸. Entretanto, Ptolomeu foi sem dúvida um dos antecessores mais importantes da Óptica moderna, pois ele antecipou a lei de refração de Alhazen, quando se elaborou o princípio de proporcionalidade com medições visuais dos raios refratados. Segundo Mach (1926, p. 29), essas medições permitiram Ptolomeu desenhar tabelas de refração de 10° à 80°.

De acordo com essa visão, a razão entre o ângulo de incidência (a) e o ângulo de refração (b) permanece a constante ($a/b = \text{const.}$) para o mesmo par de meios. Essas observações, no entanto, não corresponderam às observações da lei de refração encontrada por Alhazen, mas, a partir dessa constante, observa-se que, na Óptica de Ptolomeu, há uma

visuais. Segundo Rodrigues Neto (2013, p.883-84), a ideia de raios visuais em Euclides se caracteriza por sua interceptação descontínua, pois, nem todas as partes do objeto visível podem ser vistas simultaneamente, já que a base do cone visual tem intervalos vazios, por causa do ângulo dos raios visuais; portanto, a ideia de raios visuais, em Ptolomeu, é tida, por Rodrigues Neto, como uma abstração geométrica sem existência real.

⁷ “O sistema ptolomaico teve supremacia a partir do *Almagesto*, obra onde Ptolomeu desenvolveu seu sistema geocêntrico, aceito até o século XVI, mas que se tornou objeto de críticas e rejeição, na medida em que a Astronomia avança e torna suas observações mais precisas”. Cf. SARTON, 1927, p. 48

⁸ Deve-se considerar aqui que os extratos da obra citada foram obtidos de forma online e fragmentada, pois seu conteúdo não é disponibilizado integralmente nem o temos disponível na Biblioteca Central da UnB. Lejeune faz a tradução da Óptica de Ptolomeu do latim para o francês e na introdução à obra ele aponta para as dificuldades de tradução, uma vez que essa obra foi traduzida do grego para o latim por Êmir Eugenio de Sicília, de língua árabe, e que pouco entendia de Óptica. Essa importante obra tem cinco livros, sendo que o primeiro se perdeu e provavelmente foi nele que Ptolomeu fez seu estudo sobre o arco-íris; segundo Sarton (Cf. 1959, pp. 55-6) o quinto livro foi parcialmente recuperado e teve sua parte final perdida.

elaborada tabela de refração do raio, que segue do ar até a água, onde é possível constatar uma diferença de $\frac{1}{2}^\circ$ entre i e r :

i	r	First difference	real value of r	error
10°	8°		7°28'	+32'
20°	15°30'	7°30'	14°51'	+39'
30°	22°30'	7°	22°1'	+29'
40°	29°	6°30'	28°49'	+11'
50°	35°	6°	35°3'	-3'
60°	40°30'	5°30'	40°30'	0
70°	45°30'	5°	44°48'	+42'
80°	50°	4°30'	47°36'	+2°24'

Tabela 1 (LEJEUNE, *Apud in* SARTON, 1959, p.56)⁹

Essa diferença de $\frac{1}{2}^\circ$ permanece constante, o que nos sugere que esse valor é resultado do princípio de proporcionalidade de Ptolomeu. No entanto, quando se estabelecem valores reais de refração, ou seja, daqueles obtidos na observação, encontram-se erros que não correspondem aos índices da segunda coluna. Isso mostra que a observação dos índices de refração não são os mesmos obtidos pelo princípio de proporcionalidade. Por isto, ao anunciar, no livro V de sua *Óptica*, a lei geral de seu estudo experimental, ao medir as diferenças concretas existentes entre ângulos de incidência e refração, Ptolomeu antecipa uma generalização de forma precipitada (BOYER, 2007, p. 127). Por isto, Lejeune (1959, *apud in* SARTON, p. 57) conclui que Ptolomeu pôde ter sido induzido por autoridades gregas, que buscavam justificações matemáticas para teorias físicas, assim como fez Euclides, em suas tentativas de fazer demonstrações geométricas para explicar o comportamento da luz.

A teoria dos raios visuais, segundo a qual o órgão da visão emite raios luminosos, segundo Euclides, é um postulado presente da *Óptica* de Ptolomeu. Os olhos emitem raios, que circunscrevem o objeto visto, em forma de cone visual, cujo ápice atinge o centro do olho. Desse modo, os raios visuais seguem em linha reta, abarcando o objeto visto, formando uma teoria que servirá de base para a *Óptica* de Ptolomeu, numa formulação detalhada da refração como fenômeno luminoso e da sensação visual. Certamente, Euclides exerceu forte

⁹ Tabela fornecida por Lejeune, em "Les tables de réfraction de Ptolémée" (Annales de la *Société scientifique de Bruxelles* 60 [1946], 93-101).

influência na *Óptica* de Ptolomeu e, por essa razão, Sarton (*Ibid.*, p 57; grifo meu) considera que “[é] certo que Ptolomeu fez algumas observações com cuidado; ele não as continuou, mas as generalizou prematuramente e constituiu sua tabela *a priori*”.¹⁰ Já os postulados da *Óptica* de Euclides expressam a existência do raio visual como elemento geométrico, abrindo o caminho para uma *Óptica* ptolomaica essencialmente geométrica, o que pôde ter gerado a dificuldade de adequar o princípio de proporcionalidade às observações.

Quando Ptolomeu formula o princípio de proporcionalidade para determinar a situação geométrica da refração do raio, utiliza um quadrante graduado imerso na água para ser levado ao centro, que hoje chamamos de *baptistir*:

Ptolomeu constrói o *baptistir*, um goniômetro com uma escala angular ao longo do seu perímetro com uma precisão de $0,5^\circ$, cujo centro coincide com a interface entre os meios dielétricos que ele explora. Ele escolhe os diopros ar-água, ar-vidro e vidro-água, varia os ângulos de incidência entre 10° e 80° em unidades de 10° (medidas a partir da normal para a interface) e mede os ângulos de refração correspondentes. Ele, em seguida, realiza um estudo detalhado dos seus resultados e produz uma lei empírica, precisa o suficiente para ser de uso prático ainda em nossos dias. Curiosamente, poucos fizeram uso dela, Ptolomeu incluído. (MARTINHO, 2013, p. 2).

Para Martinho (*Ibid.*, pp. 50-2), o *baptistir* é um instrumento que chega a valores angulares aproximados, mas as discrepâncias dos valores reais, dados na observação, podem ser corrigidas se a fórmula de Bhaskara, que determina o seno de um determinado ângulo com maior precisão, for introduzida. O que se deve chamar a atenção aqui é que, mesmo sendo encontradas discrepâncias angulares com a aplicação do princípio de proporcionalidade, o *baptistir*, inventado há mais 1.800 anos, é um instrumento atual e que permite determinações muito precisas da situação angular dos raios incidentes e refratados:

¹⁰ “It is certain that Ptolemy made some observations with care; he did not continue them, however, but generalized them prematurely, and built his table *a priori*.”

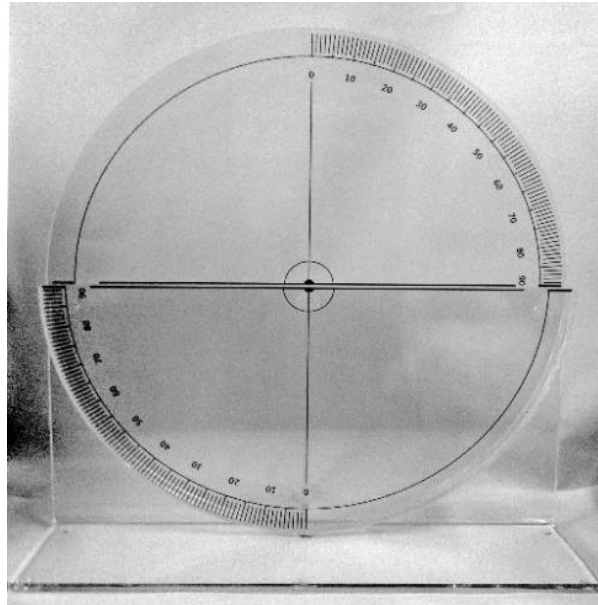


Figura 1 – *Baptistir* reproduzido por Martinho (*Ibid.*, p. 31), segundo orientações de Ptolomeu.

No entanto, o princípio de proporcionalidade, tal como foi apresentado por Ptolomeu, não se aplica ao quadrante completo, pois as observações mostram que as discrepâncias são maiores entre os valores dos raios incidentes menores que 30° e maiores que 60° (Veja tabela 1). O fato é que Ptolomeu pertence a uma tradição grega, que atribui maior importância à Geometria, sobretudo a de Euclides, para assim elaborar uma óptica geométrica que faça uma descrição da imagem visual causada por fenômenos luminosos ou por sensação visual. A tradição da Geometria grega, portanto, ainda não havia reconhecido a importância das observações, pois Ptolomeu não conseguiu observar essas discrepâncias:

Os antigos ainda não entendiam a supremacia das observações como nós e usavam mais resultados observacionais como indicadores, justificando a formulação de uma teoria, até como guias para ajudar viajantes a encontrar o caminho certo. Antes de julgá-los muito severamente, devemos lembrar que suas observações eram geralmente tão pobres, que possivelmente os resultados das observações não poderiam ter com eles a mesma autoridade que tem conosco. (SARTON, 1959, p. 57)¹¹

Rigorosamente, não se sabe exatamente em que circunstâncias suas observações foram feitas. O que Sarton nos chama atenção é que a autoridade da observação é muito posterior à

¹¹ “The ancients did not yet understand the supremacy of observations as we do and used observational results rather as indicators justifying the formulation of a theory, even as guideposts help travelers to find the right path. Before judging them too severely, we should remember that their observational means were generally so poor that the results of observations could not possibly have with them the same authority as they have with us.”

época de Ptolomeu, e mais avançada devido às descobertas conquistadas com o uso de observações mais rigorosas e adequadas à Geometria. O avanço da trigonometria, no período moderno, foi o que possibilitou o desenvolvimento de uma Óptica mais precisa porque nela se explicaram as relações existentes entre os lados e os ângulos do triângulo, favorecendo a descoberta da lei dos senos de incidência e de refração. A verdade é que Ptolomeu, apesar dos erros observacionais, chegou bem próximo da lei de refração, embora desconhecesse a lei dos senos, efetivamente desenvolvida com o avanço da trigonometria. Embora a *Óptica* de Ptolomeu tenha se desenvolvido como uma óptica geométrica, longe de ser uma física óptica, sua teoria do fluxo visual, segundo a qual se concebe um tipo de luz nos olhos, o sentido visual depende também desse fluxo:

[...] um objeto é mais bem visto, seja quando o fluxo visual o aclara, seja quando a luz cai sobre ele abundantemente. Por exemplo, o que é percebido na visão direta é mais bem visto que do que o que é percebido por reflexão ou refração. Entretanto, numerosos raios [diretos] se deterioram quando se distanciam muito. O que é observado pelos dois olhos é mais bem visto que com um único. O que tem uma luz própria é mais bem visto que o que recebe luz de alhures. E entre esses últimos [os objetos claros] é mais bem-visto o que a luz chega de uma fonte maior ou de fontes numerosas (PTOLÉMÉE, 1989, § 18).

Dessa maneira, Ptolomeu atribui ao fluxo visual duas capacidades: a de ver e a de iluminar. A visão, por um lado, pode se embaraçar com a perturbação do ar que cerca o objeto e por isto pode não ser visto claramente se os olhos estiverem distantes dele; por outro lado, se os olhos estiverem próximos do objeto visto, o fluxo visual condensará seus raios de tal modo que o objeto pode ser totalmente circunscrito por eles e visto com clareza. O que nos chama atenção aqui é o fato de Ptolomeu acreditar que, no uso dessas capacidades, os olhos têm a função de iluminar o objeto visto, adequando-se ao postulado euclidiano de que os raios visuais formam um cone e se propagam em linhas geométricas. Tanto é que, segundo Blay (2007, p. 122), “[...] é sobre essa base euclidiana que uma ciência geometrizada se constitui e encontra sua forma mais consumada na *Óptica* de Cláudio Ptolomeu”¹². Assim, a luz e suas propriedades se tornam objeto de uma óptica geométrica que determina a existência de seus elementos inexprimíveis na observação.

¹² “[...] c’est sur cette base euclidienne qu’une Science géométrisée de l’optique se constitue et trouve sa forme la plus accomplie dans l’*Optique* de Claude Ptolémée.”

Alhazen, por sua vez, foi um dos maiores divulgadores de Óptica ptolomaica. Em sua obra *De aspectibus* (1572), há uma clara transformação da Óptica onde os fenômenos luminosos e a sensação visual são determinados pelo método experimental: o livro I é dedicado à visão de modo geral; o II às propriedades visíveis; o III sobre os erros da visão; o IV, V e VI tratam da visão por reflexão; e o VII é dedicado ao estudo da refração (Cf. BOYER, 2007, p. 125). Nesse importante tratado, sobretudo nos dois primeiros livros, há o interesse de Alhazen em refutar a teoria dos raios visuais de Ptolomeu, pois, segundo ele, a luz e seus fenômenos luminosos penetram nos olhos para os objetos serem vistos. A percepção visual não possui qualquer disposição Física para iluminá-los. Sendo assim, o processo visual, em Alhazen, recebe a seguinte interpretação:

Novamente, achamos que a visão não percebe nenhum objeto visível a menos que exista no objeto alguma luz que o objeto possua de si mesmo ou que irradie sobre ele a partir de outro objeto. E se o objeto é escuro e não tem luz alguma nele, não será percebido ou sentido pela visão. Também achamos que quando o olho está em lugar escuro, percebemos os objetos à frente, se forem iluminados por alguma luz e se a atmosfera intermediária for contínua e ininterrupta por algum corpo opaco. Se o objeto estiver em um local escuro que não tem luz, e o olho está situado em um lugar iluminado, então esse objeto não será percebido ou sentido pela visão. E achamos que esse estado de coisas é uniforme e sem variação ou mudança. Isso, portanto, prova que se o objeto tem alguma luz própria, e é um dos possíveis objetos da percepção visual, e se a luz nele está acima do limite que pode ser percebido pela visão, então a visão perceberá que o objeto e o ar que envolve o olho estão ou não iluminados por uma luz diferente da que está no objeto (AL-HAYTHAM, I, 1989, pp. 8-9)¹³.

A visão, portanto, é órgão receptor da luz e seu papel é de percepção sensorial. A luz é, então, o agente físico que deve ser objeto de investigação de forma específica para dele estabelecer as determinações de suas propriedades. No *Discurso da luz*, Alhazen irá delimitar o campo de atuação da Óptica, mostrando a importância de unir Matemática e Física: no estudo da luz, sua essência, seus raios luminosos, os corpos transparentes por onde penetra,

¹³ “Again, we find that sight does not perceive any visible object unless there exists in the object some light which the object either possesses of itself or which radiates upon it from another object. If the object is dark and has no light whatever in it, it will not be perceived or sensed by sight. We also find that when the eye is in a dark place it perceives the objects facing it if they are illuminated by some light and if the intermediate atmosphere is continuous and uninterrupted by any opaque body. If the object is in a dark place that has no light, and the eye is situated in an illuminate place, then that object will not be perceived or sensed by sight. And we find this state of affairs to be uniform and without variation or change. This therefore proves that if the object has some light in it, and it is one of the possible objects of visual perception, and if the light in it is up to the limit that may be perceived by sight, then sight will perceive that object whether or not the air surrounding the eye is illuminated by a different light from that which is in the object.”

pertencem à Física; na sua propagação, sua forma e figura, seu comportamento em corpos transparentes pertence à Matemática (*Apud in RASHED*, 1968, p. 205). Embora Alhazen conceba o estudo da luz a partir da junção entre Matemática e Física, na investigação de sua essência e propriedades, ainda assim sua Óptica se estabelece no domínio da Física geométrica, segundo a qual a noção de movimento ainda não foi elaborada como objeto de uma ciência mecânica. Segundo Blay (2007, p. 132), o que realmente difere a Óptica como ciência geométrica da Óptica como ciência Física é o estudo da luz e suas propriedades associado à construção de modelos mecânicos desta em relação àquela. Somente no século XVII que a mecânica será desenvolvida como ciência Física, pois “a análise geométrica se torna secundária em relação a determinação da constituição Física do que se denomina raio luminoso; essa Física do raio luminoso deve, além disso, encontrar as leis da óptica geométrica” (*Ibid.*, p. 132)¹⁴.

Além disso, destacado como grande matemático de sua época, Alhazen concebe análise e síntese como procedimentos geométricos necessários para a demonstração de existência e construção geométrica, partindo dos elementos essenciais das secções cônicas (parábola, hipérbole, elipse), objetos inexprimíveis com régua e compasso. Segundo Rashed (Cf. 1994, p. 128), Euclides concebeu sua noção de movimento para demonstrar o trajeto contínuo de curvas planas apenas no Livro XI dos *Elementos*. Sendo assim, Alhazen se baseia na análise e síntese como procedimentos da prática Matemática, não só para tornar possível a demonstração do movimento das curvas planas coordenadas, mas para desenvolver uma teoria mecânica na construção das curvas contínuas, nos sólidos geométricos. Essa abordagem de Rashed (*Ibid.*, p.127) examina o interesse de Alhazen em resolver o problema da demonstração de objetos inexprimíveis sem o uso da régua e do compasso; para Rashed (*Ibid.*, p. 137), análise e síntese, em Alhazen, não chegam a ser um método, mas são procedimentos requeridos na prática Matemática para demonstrar a existência de uma determinada classe de objetos. Na Matemática, portanto, o procedimento de análise serve antes para descobrir se objetos sólidos podem ser conhecidos a partir de elementos imutáveis (reta, círculo, ângulo); caso seja, sua existência é demonstrada e a partir daí a síntese segue seu caminho na construção geométrica¹⁵.

¹⁴“L’analyse géométrique devient seconde par rapport à la détermination de la constitution physique de ce qu’on appelle un rayon lumineux ; cette physique du rayon lumineux doit en outre retrouver les lois de l’optique géométrique.”

¹⁵ A demonstração, em Alhazen, tem o significado de prova assim como a experiência.

Observa-se que o desenvolvimento de uma teoria mecânica das curvas, em Alhazen, é um importante passo para a compreensão do que ele desenvolve na Óptica, sobretudo no Livro VII, Sobre Refração, em *De aspectibus*. Considere-se, então, a Introdução a esse Livro elaborada por Smith:

Depois de definir a agenda do capítulo 1, Alhazen prossegue no capítulo 2 ao estabelecer os princípios fundamentais que governam a refração. Isso ele faz com base em um aparelho experimental, análogo ao concebido no livro 4 para demonstrar os princípios fundamentais da reflexão. Usando o mesmo aparelho, no capítulo 3 descreve um método experimental que determina os ângulos da refração para detalhar os ângulos de incidência quando a luz atravessa obliquamente do ar para a água, do ar para o vidro, do vidro para o ar e do vidro para a água. Alhazen se volta, no capítulo 4, para um conjunto de testes empíricos para provar que um ponto do objeto visto por meio de refração é percebido ao longo do raio refratado, sendo a sua imagem deslocada. Ele termina o capítulo mostrando que tal deslocamento afeta a observação das estrelas e da lua no horizonte, nelas fazendo refração atmosférica para parecer elevadas. Tendo feito esses pontos, ele dedica o capítulo 5 a uma discussão da localização da imagem para demonstrar empiricamente que a imagem de um ponto do objeto visto, em uma inclinação através de uma interface refrativa, está localizada onde o raio refratado intercepta a queda normal do ponto do objeto para a interface refrativa. Com base nessa demonstração empírica, ele conclui o capítulo 5 com uma série de dez teoremas, provando que qualquer ponto do objeto visto através de qualquer interface refrativa, seja plana, esférica convexa ou esférica côncava, produzirá apenas uma imagem. No capítulo 6, Alhazen explica como essas imagens são atualmente vistas e como sua aparência é afetada pela refração, fechando o capítulo com uma demonstração empírica de que tudo é visto por meio de raios refratados através de túneis transparentes do olho. Ele então fecha o livro 7, no capítulo 7, com uma breve descrição das percepções por refração; seu foco neste capítulo é a aparente ampliação ou diminuição de imagens vistas através de interfaces refrativas. A *pièce de résistance* de sua análise conclusiva é sua explicação da Ilusão da Lua com base nos fatores tanto psicológicos quanto ópticos (ALHACEN, 2010, p. xv).¹⁶

¹⁶ “After setting out the agenda for the book in chapter 1, Alhacen goes on in chapter 2 to establish the fundamental principles governing refraction. This he does on the basis of an experimental apparatus analogous to the one devised in book 4 for demonstrating the fundamental principles of reflection. Using the same apparatus in chapter 3, he describes an experimental method for determining the angles of refraction for particular angles of incidence when light passes obliquely from air into water, air into glass, glass into air, and glass into water. Alhacen next turns in chapter 4 to a set of empirical tests to prove that an object point seen by means of refraction is perceived along the refracted ray, its image thereby being displaced. He ends the chapter by showing that such displacement affects the observation of stars and the moon at horizon, atmospheric refraction causing them to appear elevated. Having made these points, he devotes chapter 5 to a discussion of image location in order to demonstrate empirically that the image of an object point seen at a slant through a refractive interface is located where the refracted ray intersects the normal dropped from the object point to the refractive

Primeiramente, destaca-se a importância que Alhazen dá à demonstração empírica quando examina o modo com o qual a luz se comporta ao atravessar o meio transparente, para chegar, no capítulo V, do Livro VII, à determinação de teoremas que provam o modo pelo qual a imagem é produzida. Vimos anteriormente que análise e síntese, em Alhazen, nada têm a ver com um método de investigação praticado na óptica, mas antes são procedimentos necessários na prática Matemática. Mas, se for possível indagar o que deve vir antes do método empírico, em Alhazen, será inevitável se deparar com a ausência de um método hipotético-dedutivo, no qual hipóteses devem ser testadas antes, na experiência, para serem confirmadas ou refutadas depois. Como consequência, a Óptica de Alhazen, segundo a Introdução de Smith, mostra que “[...] esses experimentos foram projetados não para testar, mas para confirmar hipóteses já aceitas *a priori* (*Ibid.*, p. c-ci)”¹⁷. Na verdade, é difícil explicar a ordem das investigações, em Alhazen, sobretudo quando ele tenta adequar experiência à Matemática no exame da refração, pois, ao introduzir a noção de movimento na óptica geométrica, ele apresenta dificuldades para demonstrá-la na experiência. Essa dificuldade, talvez, tenha origem justificável no próprio esforço de Alhazen em redefinir a Óptica de Ptolomeu, principalmente ao se obstinar a corrigir os erros de observação de Ptolomeu. Um aspecto importante para observar é que a prova por Alhazen se estabelece na experiência, que exerce papel fundamental na constituição do capítulo 4 do Livro VII, Sobre Refração. Portanto, será o método experimental que fará de Alhazen não só um antecipador da ciência moderna, mas um estudioso fiel da Óptica de Ptolomeu, pois, segundo Rashed:

[...] Ptolomeu protegeu assim Ibn al-Haytham da importância e novidade do resultado de Ibn Sahl. Mas este regresso a Ptolomeu levou Ibn al-Haytham a prosseguir a investigação quantitativa; embora tivesse as tabelas do seu antecessor à sua disposição, teve de calcular outros valores, pelo menos ângulos de desvio e diferenças de primeira ordem, com uma óptica e teoria da prova renovadas. (*Apud in*, BLAY, 2007, p. 130).¹⁸

interface. On the basis of this empirical demonstration, he concludes chapter 5 with a series of ten theorems proving that any object point seen through any refractive interface, whether plane, convex spherical, or concave spherical, will yield only one image. In chapter 6 Alhacen explains how such images are actually seen and how their appearance is affected by refraction, closing the chapter with an empirical demonstration that everything is seen by means of rays refracted through the transparent tunics of the eye. He then brings book 7 to a close in chapter 7 with a brief account of misperceptions due to refraction, his focus in this chapter being the apparent magnification or diminution of images seen through refractive interfaces. The *pièce de résistance* of this concluding analysis is his explanation of the Moon Illusion on the basis of both psychological and optical factors.”

¹⁷ “In addition, those experiments were designed not to test but to confirm hypotheses already accepted *a priori*.”

¹⁸ “Ptolémée a donc fait écran à Ibn al-Haytham, en lui voilant l’importance et la nouveauté du résultat d’Ibn Sahl. Mais ce retour à Ptolémée a incité Ibn al-Haytham à poursuivre la recherche quantitative; même si en effet,

Segundo Blay, Alhazen tinha conhecimento da Geometria de Ibn Sahl (940-1000 d.C.), seu contemporâneo, que antecipa a lei de refração por uma relação inversa do índice de refração, considerando dois meios diferentes. No entanto, Alhazen prefere seguir o caminho quantitativo, em situações experimentais, para assim requalificar a Óptica ptolomaica. Assim como Ptolomeu, Alhazen também desconhecia a lei dos senos, mas, ao chegar próximo à lei de refração, contribuiu significativamente para o avanço da ciência moderna, que se estabeleceu com teorias científicas, destacando sua sistematização nos modelos empíricos aplicados na Física, com o desenvolvimento de leis científicas a partir de teorias justificadas matematicamente. Se, por um lado, o movimento, em Alhazen, é objeto de elaboração de uma teoria mecânica de curvas geométricas, de extensão contínua, por outro, o movimento, como objeto da dinâmica de uma Física mecânica, vai possibilitar o desenvolvimento de uma física óptica, que se estabeleceu por leis físicas do movimento somente no século XVII, como é o caso de Descartes e Newton.

Para chegar perto da lei de refração, Alhazen precisou empregar um modelo mecânico no estudo da refração:

Finalmente, a dinâmica da análise de refração de Alhazen levanta dificuldades. Para começar, essa análise está baseada na suposição de que refrações ocorrem diretamente no ponto de entrada em um meio mais denso ou mais raro. Sendo assim, as forças de resistência ao longo da vertical e horizontal devem ser exercidas instantaneamente e, como resultado, a mudança de movimento também deve ser instantânea. Não só essa mudança instantânea de movimento é filosoficamente problemática, mas sem contrapartida no mundo físico, onde toda mudança de movimento, por mais abrupta que seja, envolve algum estágio de transição de desaceleração ou aceleração (SMITH, *Apud in* ALHACEN, 2010, p. lxii).¹⁹

Essa dificuldade decorre não somente da ausência de uma física óptica, que aplica as leis do movimento para explicar a mudança, mas também pela ausência de uma adequação satisfatória entre movimento e experiência. Como se vê, desde a tradição grega há um esforço da ciência natural se estabelecer a partir de pressupostos matemáticos, dando-lhes, com a elaborada óptica geométrica, uma explicação obstinada ao fenômeno luminoso e sua sensação visual. Contudo, a óptica geométrica se limitou à percepção visual, permanecendo nos limites

il disposait des tables de son prédécesseur, il a dû calculer d'autres valeurs, au moins des angles de déviation et les différences de premier ordre, muni d'une optique et d'une théorie de la preuve renouvelées”.

¹⁹ “Finally, the dynamics of Alhacen's refraction analysis raise difficulties. To start with, that analysis is based on supposing that refraction occurs right at the point of entry into a denser or rarer medium. That being so, the forces of resistance along the vertical and horizontal must be exerted instantaneously, and, as a result, the change in motion must also be instantaneous. Not only is such an instantaneous change of motion philosophically problematic, but it has no counterpart in the physical world, where all change in motion, no matter how abrupt, involves some transitional stage of deceleration or acceleration.”

de uma Física sensitiva, portanto, qualitativa, sem que com isso encontrasse resposta objetiva e quantitativa ao problema da propagação do raio luminoso. Na ausência de um sistema mecânico estruturado para lidar com a mudança, a física óptica se ergueu na busca de respostas para os problemas do movimento e assim superar a óptica geométrica.

O movimento da luz provoca seu choque em outros corpos, que se movem ao seu redor, causando seu desvio, tanto de reflexão quanto de refração, em corpos mais ou menos densos. Logo, o ângulo de incidência é determinante para seu desvio, pois a direção que seu movimento irá alterar, com a rapidez de sua propagação nos corpos em que a luz se esbarra, aumentará ou reduzirá seu movimento. Para a física óptica avançar, o problema da sensação visual precisou ser deixado de lado para que o estudo da propagação da luz e da gênese da cor fosse desenvolvido. Esse avanço só ocorre no século XVII:

Esse tipo de aproximação foi verdadeiramente iniciado por Descartes. No mundo pleno cartesiano, a propagação da luz é caracterizada por uma tendência ou inclinação ao movimento das esferas da matéria sutil, preenchendo todos os céus; ele assinala, além disso, que essas esferas, além de tendência ao movimento retilíneo, produzindo a sensação da luz, podem igualmente girar ou ao menos ter uma tendência a rotação sobre elas mesmas. Esses múltiplos movimentos ou tendência a rotação que Descartes liga a sensação das cores (BLAY, 2007, p 132).²⁰

Apesar das dificuldades, é incontestável o avanço da Óptica de Alhazen, visto que Sabra (*apud in* AL-HAYTHAM, 1989, p. lxi), ao traduzir os três primeiros Livros da *Óptica* de Alhazen, nos mostra que este é o primeiro tratado a ultrapassar a Óptica de Ptolomeu, pois, ao romper com a teoria dos raios visuais de Ptolomeu, o método experimental é sistematizado como jamais foi, para além do que fez Ptolomeu em sua Óptica. Certamente, a ruptura com a teoria dos raios visuais é um passo importante para o avanço da Óptica de Alhazen, pois significa também uma ruptura com a Óptica euclidiana que também defende a teoria dos raios visuais. Ademais, a lei da reciprocidade, como será visto mais adiante, antecipa o avanço da Óptica moderna, pois ela estará presente, porém reformulada, na Óptica de Huygens e Newton.

²⁰ “Ce type d’approche a été véritablement initié par Descartes. Dans le monde plein cartésien, la propagation de la lumière est caractérisée par une tendance ou inclination au mouvement des boules de la matière subtile remplissant tous les cieux ; il souligne, en outre, que ces boules, outre leur tendance au mouvement rectiligne produisant la sensation de lumière, peuvent également tourner ou du moins avoir une tendance à la rotation sur elle-même. C’est à ces multiples mouvements ou tendance à la rotation que Descartes rattache la sensation des couleurs.”

1.2) O arco-íris como objeto da óptica geométrica

No estudo dos fenômenos luminosos, em particular o comportamento da luz no estudo do arco-íris, já em Ptolomeu alcança um elevado conhecimento sobre seu espectro, na percepção visual de suas cores; mas, ao que parece, o Livro I da *Óptica* de Ptolomeu que se perdeu, foi o lugar onde esse estudo pode ter sido realizado. Segundo Boyer (1987, p. 62), embora pareça que Ptolomeu tenha aceitado a explicação dada por Aristóteles ao arco-íris, aferindo, inclusive, o número de sete cores na formação do arco-íris, “[...] o silêncio de seus contemporâneos e sucessores a esse respeito fez com que isso parecesse improvável (*Ibid.*)²¹”. Como disse antes, Ptolomeu ficou mais conhecido com o *Almagesto* e isto dificultou o conhecimento de sua *Óptica*, posto que ela só veio a ser redescoberta por Alhazen, que buscou redefinir a teoria ptolomaica dos raios visuais. Aliás, Alhazen não trata do estudo do arco-íris em sua *Óptica*, pois ele herda a concepção aristotélica da reflexão como causa da cor do arco-íris, sem investigar a causa de sua formação. Ao apresentar as principais partes na Introdução da *Óptica* de Alhazen, através das quais se discute o problema da visão retilínea, da reflexão e da refração, Sabra observa:

Um tratamento do arco-íris não teria sido colocado nesse esquema, uma vez que o fenômeno foi entendido (pelos antigos e por I. H.) como um fenômeno de reflexão que dependia da posição do observador. Mas aqui também o poder da tradição se afirmou: o fenômeno do arco-íris foi geralmente tratado nos trabalhos de meteorologia de Aristóteles, e não em obras de *Óptica* (*Apud in AL-HAYTHAM*, 1989, p. lx-lxi)²².

Se Alhazen não incluiu o arco-íris em sua *Óptica*, a razão disso talvez seja a herança aristotélica da reflexão, pois a ele basta a explicação dada na Geometria e na meteorologia de Aristóteles ao determinar a reflexão como causa da forma circular do arco, dada a superfície côncava das gotas d’água onde ocorre a reflexão. Então, o fenômeno do arco-íris é antes objeto da meteorologia, não da *Óptica* (BOYER, 1987, p.81). Ao que parece, Alhazen não percebeu a relação existente entre a *Óptica* e o arco-íris, pois a gota d’água, como um meio transparente, sofre a ação da reflexão e refração, objetos do método empírico criado por ele para refutar a teoria dos raios visuais de Ptolomeu e provar o modo pelo qual a imagem é formada na superfície refrativa e no sentido visual.

²¹ “[...] the silence of his contemporaries and successors in this connection makes this appear unlikely.”

²² “A treatment of the rainbow would not have been out of place in this scheme since the phenomenon was understood (by the ancients and by I. H.) as a reflection phenomenon which depended on the position of the observer. But here also the power of tradition asserted itself: rainbow phenomena had generally been dealt with since Aristotle in works on meteorology rather than in works on optics.”

Até o momento, discutiu-se a relação entre Alhazen e seus antecessores, e, a partir de agora, será discutida a relação entre ele e seus sucessores. Observa-se que se tem Ptolomeu como um antecessor importante para a obra de Alhazen, o que foi decisivo, bem como determinante para a base da sua Óptica, assim como Aristóteles e Euclides. De um ponto de vista mais específico, o estudo da refração será aqui abordado como fenômeno luminoso de grande interesse na ciência medieval, pois ainda havia muita falta de clareza nas explicações fornecidas sobre a formação do arco-íris até então.

Robert Grosseteste (1175-1253), segundo Boyer (1987, pp. 89-90), desenvolveu seus estudos sobre o arco-íris na obra *De iride*, onde ele se destaca na área da Óptica por ser o primeiro a determinar a refração como causa da formação desse fenômeno. Ele chega a considerar, inclusive, que o arco-íris é objeto da Óptica, não da meteorologia como foi em Aristóteles, mas não sabemos ao certo se ele tinha conhecimento de outra teoria da refração que explicasse a formação do arco. Talvez Grosseteste conhecesse a *Óptica* de Ptolomeu, uma vez que ele lia em grego e hebraico, o que provavelmente nos faz concluir que ele não chegou a conhecer Alhazen, devido sua falta de conhecimento na língua árabe. No entanto, como ele buscava regularidades geométricas e numéricas na natureza, se consagrou no campo da Óptica ao encontrar uma constância dos raios refratados e refletidos na lei de proporcionalidade. Observa-se, entretanto, que Alhazen negou a lei de proporcionalidade de Ptolomeu justamente porque essa lei não se aplica ao quadrante completo nem se ajusta às observações. Essa lei, no entanto, abrange uma especificidade no campo da Óptica porque ela é desenvolvida a partir de experiências que descrevem certa regularidade geométrica em ângulos pequenos. (*Ibid.*).

Se, por um lado, Grosseteste defende a refração como causa da formação do arco-íris, e Vitelo (1230-1275), de modo semelhante, também sustenta a mesma posição, afastando-se de Alhazen, que acreditava ser a reflexão a causa do arco-íris, por outro lado, Vitelo ainda não tinha a ideia moderna de que os raios são refratados, refletidos e refratados novamente antes de alcançar o olho para assim formar o arco-íris (*Ibid.*, p. 103). Entre Vitelo e Alhazen há muita semelhança, de tal modo que a Óptica de Vitelo se tornou tão dependente da Óptica alhacênica, que, ao estabelecer um cruzamento de suas referências, mostra “[...] que essa dependência frequentemente montou as mesmas figuras geométricas em ambos os textos (SABRA, *apud in* AL-HAYTHAM, 1989, p.lxxvi)”²³. Mas essa semelhança é parcial, entendendo que Vitelo consegue oferecer resultados quantitativos, aplicando as tabulações de

²³ “[...] this dependence that the same geometrical figures often fitted both texts.”

Ptolomeu a partir do princípio de proporcionalidade, que é rejeitado por Alhazen (BOYER, 1987, p. 91).

Já Roger Bacon (1214-1292), que também desenvolveu um estudo sobre o arco-íris, se, por um lado, defendeu o método científico, baseado na Matemática e na experimentação, por outro, assume uma posição religiosa, a qual acredita que “a Bíblia explica o fim pelo qual o arco-íris existe. Deus produz o arco contra o dilúvio (*Ibid.*, p. 99-100)”²⁴. Porém, ele acertou ao considerar que o arco-íris é produzido por várias reflexões e refrações em muitas gotas d’água e que as cores que nele se formam estão relacionadas a isso. No entanto, Boyer acredita que, se Roger Bacon tivesse optado por desenvolver a Geometria e assim resolver o problema do espectro e da formação do arco, teria avançado mais no estudo do fenômeno; mas Bacon preferiu seguir as Sagradas Escrituras, deixando que esse problema fosse resolvido efetivamente apenas pelos modernos (*Ibid.*, p. 100).

Com Kepler (1571-1630), a discussão que se inicia sobre o arco-íris, em torno do qual também se desenvolve uma Geometria Óptica, segue a trilha deixada pelos medievais: Alhazen, que se destacou numa investigação pioneira sobre a refração dos raios e seus efeitos, na visão e na atmosfera; e Vitelo, que desenvolveu seu estudo sobre o arco-íris, acreditando que a refração é causa da formação arco.

Inicialmente, chamamos atenção para a obra de Kepler, *Optics: paralipomena to Witelo & optical part of astronomy*, publicada em 1604, originalmente intitulada por *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur*, como sendo um importante tratado que busca explicar a natureza da luz, seus efeitos visuais e fenômenos ópticos, dando continuidade à Física geométrica. Nela, podemos observar que Kepler não só estabelece as leis do movimento dos corpos, mas também desenvolve questões que giram em torno de analogias entre fenômenos visuais e demonstrações geométricas. Segundo Tossato (2007, p. 477,78), não são muitos os trabalhos que discutem a Óptica de Kepler, mas nela se vê reformular a Óptica de Vitelo, que se baseou essencialmente na Óptica de Alhazen.

Paralipomena, como denominam seus comentadores, é a obra em que Kepler busca dar uma explicação do comportamento da luz através da trigonometria e seu interesse pelo arco-íris é despertado pela crença de poder justificá-lo com a harmonia Matemática, tão valorizada na época (BOYER, 1987, p. 179). Sua notável desenvoltura em astronomia rendeu-

²⁴ “The Bible explains the end for which the rainbow exists; God's bow provides against a deluge.”

lhe muito prestígio, mas faltou-lhe, no que diz respeito ao arco-íris em particular, a observação necessária para medir, com precisão, os ângulos de refração na gota d'água. Segundo Boyer, Kepler chega a medir o primeiro arco em 45°, e o segundo em 56°, mas essas medidas estão longe da precisão requerida: “ele tinha a imaginação Matemática necessária, mas faltaram-lhe os necessários dados experimentais” (*Ibid.* 183)²⁵. Inclusive, parece que Brengger chegou a sugerir que Kepler usasse um globo cheio d'água para estudar a refração, mas ainda assim Kepler preferiu assumir a posição de que o arco-íris é causado pela queda tangencial dos raios solares.²⁶

Na Proposição 8, Capítulo 4, de *Paralipomena*, que trata da forma como os raios de luz se refratam na água, há a tentativa, em Kepler, de corrigir os resultados experimentais de Vitelo. Segundo seus cálculos, não há como a experiência se encaixar aos graus de precisão que ele apresenta na Tabela 2, pois as diferenças existentes mostram a discrepância entre cálculo e resultados experimentais:

<i>Distance of Radiant from Zenith, in Rare Medium</i>	<i>Part of Refr. Proportional to the Inclinations Deg. Min.</i>	<i>Addition because of Secants Deg. Min.</i>	<i>Whole Demonstrative Refraction Deg. Min.</i>	<i>Vitelo's Experimental Results</i>	<i>Difference</i>
10	2. 25.	0. 1.	2. 26.	2. 15.	0. 11. –
20	4. 49.	0. 10.	4. 59.	4. 30.	0. 29. –
30	7. 14.	0. 35.	7. 49.	7. 30.	0. 19. –
40	9. 39.	1. 23.	11. 2.	11. 0.	0. 2. –
50	12. 4.	2. 42.	14. 46.	15. 0.	0. 14. +
60	14. 28.	4. 40.	19. 8.	19. 30.	0. 22. +
70	16. 52.	7. 19.	24. 11.	24. 30.	0. 19. +
80	19. 17.	10. 43.	30. 0.	30. 0.	0. 0.
90	21. 43.	14. 47.	36. 30.		

Tabela 2 (KEPLER, 2000, p.128)

O cálculo, no entanto, testa apenas os resultados experimentais de Vitelo, sem que com isso sejam apresentados outros resultados experimentais para se encaixar. Seguindo o raciocínio de Boyer, faltou a Kepler imaginação experimental ao atestar sua crença na harmonia Matemática; e, embora seus resultados possam decepcionar, não há dúvida de que ele aplicou o método do paralelogramo no problema da reflexão de forma bem-sucedida:

²⁵ “He had the necessary mathematical imagination, but he lacked the needed experimental data.”

²⁶ Segundo Boyer (*Ibid.* p. 183), Kepler aparentemente usa a esfera ao descrever o comportamento dos raios no interior do globo, o que depois será usado por Descartes e o levará ao sucesso. No entanto, ao fazer uma demonstração geométrica do comportamento da luz, quando estabelece a formação do primeiro arco, com o ângulo de 45°, e examina a trajetória do raio no interior da gota, Kepler insiste em afirmar que a causa da formação do arco é a queda dos raios tangentes. Se ele tivesse observado com mais cuidado o globo de vidro cheio d'água, talvez tivesse chegado a resultados semelhantes aos de Descartes, que fez esse tipo de observação ao obter as grandezas de 42° e 51°, na formação do primeiro e segundo arcos, respectivamente.

Adotando a analogia entre o comportamento da luz e de objetos físicos, Kepler observa que uma superfície resistente não está diretamente oposta aos movimentos oblíquos e, conseqüentemente, tais movimentos devem ser refletidos em uma direção oblíqua similar. Para provar a igualdade dos ângulos, ele considera o movimento incidente composto de duas partes, uma perpendicular e a outra paralela à superfície. A igualdade dos ângulos segue da suposição de que a superfície seja oposta ao primeiro, mas não ao segundo componente. Não há dúvida de que a fonte dessa prova foi a *Óptica* de Ibn al-Haytham, que Kepler citava com frequência; e até onde a reflexão é concebida, o *Paralipomena* de Kepler, publicado em 1604, pode ter sido um elo entre Ibn al-Haytham e Descartes (SABRA, 1981, p. 78).²⁷

A prova que Sabra se refere está na Proposição XIX do Capítulo I, em *Paralipomena*, onde Kepler desenvolve seu método do paralelogramo: “[...] quando algo se move obliquamente, em direção a uma superfície, esse movimento é composto de movimento perpendicular e movimento paralelo à superfície. Mas a superfície está voltada apenas para enfrentar a parte que é perpendicular a ela, não a parte que lhe é paralela” (2000, p.27)²⁸. Com isso, quando o movimento oblíquo é recuperado em seu ângulo de incidência, o raio de luz é refletido, em direção oposta, mas em ângulo igual. A partir disto, é possível pensar o problema do ângulo da reflexão em Descartes, pois ele determina duas perpendiculares, uma paralela à outra, para que, no momento do impacto à superfície, os ângulos de incidência e reflexão possam ser definidos (Cf. DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 92-3).

Apesar de Kepler ter chegado a uma explicação satisfatória da causa da reflexão, a causa das cores do arco-íris permanece sendo uma continuação da explicação medieval, pois ele admite que a causa da cor consiste numa ação sutil da luz, no material líquido das nuvens, mas nega que reflexão e refração sejam a causa da cor (BOYER, 1987, p. 180). Portanto, reflexão e refração são causa da formação do arco. Isso significa que Kepler só não chega perto da explicação da causa da cor porque, ao separá-la da formação do arco, limita a determinação da cor ao material líquido pulverizado no ar, sem considerar a circunferência das gotas nesse fenômeno luminoso.

²⁷ “Adopting the analogy between the behavior of light and of physical, Kepler observes that a resisting surface is not directly opposed to oblique movements, and consequently such movements must be reflected in a similarly oblique direction. To prove the equality of the angles, he considers the incident movement to be composed of two parts, one perpendicular and the other parallel to the surface. The equality of the angles follows from supposing the surface to be opposed to the first but not to the second component. There can be no doubt that the source of this proof was Ibn al-Haytham’s *Optics* which Kepler frequently cited; and as far as reflection is concerned, Kepler’s *Paralipomena*, published in 1604, may have been a link between Ibn al -Haytham and Descartes”.

²⁸ “[...] when something moves obliquely towards a surface, that motion is compounded of motion perpendicular and motion parallel to the surface. But the surface is only turned to face that part which is perpendicular to it, not that part which is parallel to it.”

1.3) O nascimento da física óptica

A revolução científica do século XVII traz consigo uma história da ciência marcada por teorias científicas com um objetivo comum, o de investigar e elucidar a natureza da luz, em parte pelo avanço significativo da Astronomia, após longos séculos de aceitação da Astronomia ptolomaica. As descobertas realizadas por Kepler, que o tornaram mais conhecido pela teoria das leis do movimento dos planetas, também se dirigiram ao campo da Óptica, lançando assim uma base para outras teorias que aperfeiçoaram a física óptica, a saber, a de Descartes (1596-1650) e Newton (1643-1727), autores sobre os quais a pesquisa aqui tem o objetivo de se desenvolver.

Convém chamar atenção sobre a relação que Descartes estabeleceu com Kepler, considerando o que pensou Alhazen, cientista medieval que contribuiu decisivamente para o desenvolvimento da Óptica Moderna. Ademais, não é forçoso dizer que Alhazen pode ser considerado o pai da Óptica, pois ele desenvolveu um trabalho avançado para seu tempo, antecipando assim a lei de refração estabelecida por Descartes e Snell²⁹. Também não é forçoso dizer que Alhazen é um dos cientistas medievais que desenvolve um método científico arrojado, servindo de base para Galileu e Kepler, colaborando para a sistematização da experiência com a Matemática. Sendo assim, é importante considerar que Descartes, numa de suas correspondências a Mersenne, reconhece que Kepler foi o seu primeiro mestre em Óptica (Cf. DESCARTES, *Correspondence*, a Mersenne, 31 mars 1638, AT II, 1996, p. 85). Entretanto, ele se defende de uma acusação:

Aquele que me acusa de ter copiado de Kepler as elipses e as hipérbolas da minha *Dióptrica* deve ser ignorante ou malicioso; pois, por elipse, não me recordo do que Kepler fala, ou se ele fala, é certamente para dizer que ela não é a anaclástica que ele procura; e por hipérbole, lembro-me muito bem que ele pretende demonstrar concretamente que ela não é, embora diga que não é muito diferente.³⁰

²⁹ Snell (1591-1626) estabeleceu essa lei experimentalmente antes de Descartes tê-la estabelecido dedutivamente. Entretanto, Descartes não chegou a conhecer a formulação de Snell, pois este não chegou a publicá-la., mas seus manuscritos foram conhecidos por Huygens (1629-1695) e se perderam ao longo do tempo. A formulação cartesiana foi amplamente difundida, chegando a ser conhecida por Newton que, através dela, desenvolveu o princípio de reciprocidade antes estabelecida por Alhazen, como veremos mais adiante.

³⁰ “Celui qui m'accuse d'avoir emprunté de Kepler les ellipses et les hyperboles de ma *Dioptrique*, doit être ignorant ou malicieux; car pour l'ellipse, je n'ai pas de mémoire que Kepler en parle, ou s'il en parle, c'est assurément pour dire qu'elle n'est pas l'anacoustique qu'il cherche; et pour l'hyperbole, je me souviens fort bien qu'il prétend démontrer expressément qu'elle ne l'est pas, bien qu'il dise qu'elle n'en est pas beaucoup différente” (*Ibid.*, p. 85).

O que Descartes diz com isto é que Kepler se dedicou em demonstrar a hipérbole para medir a refração dos raios luminosos, mas a curva anaclástica, que é aquela que reúne vários raios de direções distintas, numa mesma incidência, para resultar na refração e na correção da percepção visual, é uma descoberta cartesiana não kepleriana. Ao contrário, Kepler (2000, p. 122) se ocupa da hipérbole para medir o ângulo de refração, tal como ele demonstra em sua *Óptica*, ao afirmar que, se a inclinação dos raios refratados igualmente se submeter “[...] as regras da hipérbole, a hipérbole será dada e a superfície hiperbólica calculará as refrações”³¹. Já a anaclástica cartesiana tem outra função, que é a de calcular a proporção existente entre os ângulos de incidência e de refração dos raios, e assim corrigir os defeitos visuais que podem decorrer de seus desvios.

Descartes (1999, p. 63), muito antes dessa acusação, já havia falado, na Regra VIII, o que se deve fazer para encontrar a proporção entre os ângulos de incidência e refração da luz, para se chegar à anaclástica:

[...] a relação entre os ângulos de incidência e os de refração depende da variação desses mesmos ângulos em razão da diferença dos meios; que essa variação ao seu redor depende do modo pelo qual o raio penetra em todo o corpo transparente e que o conhecimento da propriedade de penetrar um corpo supõe igualmente conhecida a natureza da ação da luz, e que, enfim, para compreender a ação da luz é necessário saber o que é, em geral, um poder natural, que em toda essa série é o último termo e o mais absoluto ³².

O poder natural do qual Descartes trata, que na ordem das razões se coloca como aquilo que é mais absoluto em relação ao que vem antes, é objeto de exame da *Dióptrica* e, nesse ensaio científico, ele não só examina, mas também realiza demonstrações geométricas, especialmente no Discurso VIII. Neste Discurso, já se vê a aplicação das regras fornecidas nas *Regras para a direção de espírito*, e com as quais se estabelece a relação existente entre os ângulos de incidência e refração na busca da anaclástica³³. Para além disto, ele também ensina

³¹ “[...] to the rules of the hyperbola, the hyperbola will be given, and the hyperbolic surface will compute the refractions.”

³² “[...] le rapport entre les angles d’incidence et les angles de réfraction dépend de la variation de ces mêmes angles en raison de la différence des milieux; que cette variation à son tour dépend de la façon dont le rayon pénètre dans tout le corps transparente; que la connaissance de la propriété de pénétrer dans un corps suppose également connue la nature de l’action de la lumière; et qu’enfin pour comprendre l’action de la lumière, il faut savoir ce que c’est en général qu’une puissance naturelle, ce qui est dans toute cette série le dernier terme et le plus absolu”.

³³ É importante observar que quando Descartes fala da ordem das razões se refere ao preceito da ordem, que é fundamental no procedimento dedutivo. Assim, obedecendo a ordem das razões, a dedução só é possível quando o princípio buscado é encontrado, para dele se inferir conclusões necessárias que, no caso acima mencionado, refere-se ao conhecimento do poder natural da luz determinado na *Dióptrica* e para assim determinar a curva

a Ferrier a construir uma máquina de talhar e polir lentes, bem como a traçar a curva anaclástica no corte dos vidros (Cf. *Correspondence*, a Ferrier, 13 novembre 1629, AT I, 1996).

Diante do que foi apresentado até aqui, percebe-se que a defesa de Descartes é suficiente para nos mostrar que a acusação recebida não procede, pois Kepler não calculou a anaclástica e sim as proporções geométricas da hipérbole, elipse e parábola, e só depois essas proporções serviriam de base para Descartes determinar a anaclástica. Sabendo então que Kepler foi importante para que Descartes pudesse determinar a anaclástica, voltar à Óptica de Alhazen deve servir para mostrar que seus fundamentos foram essenciais para Óptica kepleriana. Sendo assim, na Introdução da obra *De aspectibus* de Alhazen, mais precisamente o Livro VII. Lá, Mark Smith elabora uma introdução na tradução crítica da obra e se observa que a ascensão da ciência moderna se deve a inegável contribuição de Alhazen, com sua teoria sistemática sobre a refração da luz. Segundo Smith (*apud in* ALHACEN, 2010, p. xcvi), a perspectiva da atualidade de Alhazen pode ser compreendida da seguinte forma:

Implícito nesse argumento é que, se não fosse por esse impedimento teórico e conceitual [ou seja, insistir em tratar as lentes como sensitivas, não como instrumento óptico, é o que separa a óptica geométrica da física óptica], Alhazen poderia ter de fato levado a Óptica ao que Bellosta se refere como modernidade. Em outras palavras, Alhazen não só lançou as bases da Óptica moderna, mas também erigiu a maior parte da superestrutura. Foi Kepler, presumivelmente, quem deu os toques finais a essa superestrutura com sua teoria da imagem retiniana.³⁴

Pesquisar a Óptica moderna inevitavelmente nos remeterá a Óptica alhacênica, devido à importante estrutura desenvolvida na explicação Física da refração da luz, combinando determinações experimentais e mecânicas (geométricas) em sua estrutura. Segundo Smith (*Ibid.*, p. lxii-lxiii), “mais importante ainda, ao tentar explicar a refração fisicamente, mesmo mecanicamente, Alhazen determinou a análise da refração em um caminho que teve

anaclástica. Portanto, segundo a ordem das razões, a anaclástica só poderá ser conhecida se primeiro for conhecido o poder natural da luz.

³⁴ “Implicit in this argument is that were it not for this one theoretical and conceptual impediment, Alhacen could have, indeed would have, brought optics to what Bellosta refers to as modernity. In other words, Alhacen not only laid the foundations of modern optics, but he also erected most of the superstructure. It was Kepler, presumably, who put the final touches on this superstructure with his theory of retinal imaging”.

importantes viradas durante o século XVII, como vários pensadores ocidentais, de Descartes a Newton, que tentaram refinar e, às vezes, redefinir o modelo”³⁵.

Se por um lado Alhazen falhou ao insistir em tratar as lentes como sensitivas, por outro, trouxe à realidade os fundamentos de uma Óptica revolucionária aperfeiçoada por Kepler e seus sucessores. Portanto, essa redefinição é dada por Descartes quando ele encontra, na lei de refração, a relação entre os senos de incidência e refração e assim determina a curva anaclástica com a ajuda das hipérbolas, parábolas e elipses de Kepler. Essa lei, entretanto, Alhazen não conhecia, mas com o desenvolvimento de uma teoria da visão consistente, chegou-se perto da lei de Snell para assim favorecer o desenvolvimento da óptica Geométrica de Kepler. Desse modo, também temos uma Óptica alhacênica redefinida por Newton, que constrói um modelo de comportamento da luz semelhante ao de Alhazen, sobretudo ao desenvolver o princípio de reciprocidade estabelecido no Axioma III do Livro I de sua *Óptica*. Se o raio refratado for devolvido diretamente ao ponto de incidência, será refratado na reta descrita anteriormente pelo raio incidente (Cf. NEWTON, *Óptica*, 2002, p. 42).

Newton faz a demonstração desse princípio na experiência do prisma, aplicando a lei de refração assim demonstrada por ele no Axioma V, Livro I da *Óptica*, para daí seguir com a demonstração geométrica do comportamento da luz, atravessando o prisma:

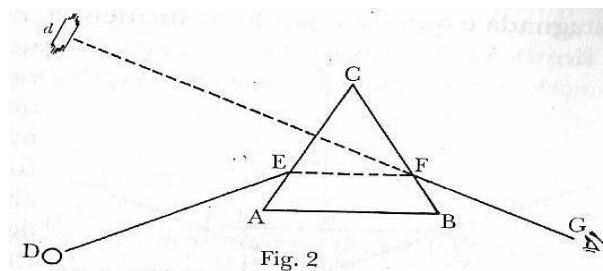


Figura 2 (NEWTON, 2002, p. 44)

Conforme a figura acima, Newton faz a demonstração da aplicação do princípio de reciprocidade, obedecendo a relação dos senos de incidência e refração para assim mostrar como se dá o comportamento da luz no prisma.

³⁵ “More important, though, in attempting to explain refraction physically, even mechanically, Alhacen set the analysis of refraction on a path that took important turnings during the seventeenth century, as various Western thinkers from Descartes to Newton attempted to refine and, at times, redefine the model.”

Tomando agora esse raio como o raio que incide sobre o seguimento do lado do vidro BC, por onde a luz sai, achamos o raio refratado seguinte FG, usando 11 para 17 como proporção do seno de incidência para o seno de refração. O fato é que, se o seno de incidência do ar para o vidro está para o seno de refração assim como 17 está para 11, o seno de incidência do vidro para o ar, ao contrário, tem de estar para o seno de refração assim como 11 está para 17, pelo Axioma III. (*Ibid.*)

Observa-se que na Figura 2 o raio de incidência DE, que vem do ar, obedece a mesma proporção do seno de incidência e de refração do raio FG, que sai do vidro para o ar, que é de 17 para 11. Por outro lado, é possível ver que a proporção do seno de incidência e de refração no interior do vidro é de 11 para 17, na posição invertida de GF e ED. Portanto, o que define essa relação de proporcionalidade, na aplicação do princípio de reciprocidade, depende da densidade do meio que é o que determina a variação do desvio do raio.

Temos por ora uma breve explicação de como Newton aplica o princípio de reciprocidade, com auxílio da lei de refração então desconhecida por Alhazen. Desconhecê-la é, certamente, uma limitação de conhecimento, pois a Óptica alhacênica se restringiu à percepção sensível da luz – em contrapartida com o avanço da trigonometria onde a lei dos senos pôde ser estabelecida. Mas isto não lhe retira o mérito, pois Alhazen introduziu o princípio de reciprocidade na ciência Óptica antes mesmo de Newton, sem sequer ter o conhecimento da Lei de Snell e da lei de refração.

Ocorre que, no Livro VII de *De aspectibus*, a determinação desse princípio é realizada com aplicação do método experimental para assim chegar aos ângulos de refração em diversos meios transparentes – do ar para a água, da água para o ar, do ar para o vidro e do vidro para o ar.

Segundo Smith (*apud in ALHACEN*, 2010, p. xxvi), as determinações experimentais de Alhazen nos permite chegar à conclusão de que existe uma simetria no desvio do raio que entra e sai, ou vice e versa, nos meios transparentes. Essa simetria, da qual Smith trata, está estabelecida por Alhazen da seguinte forma:

E quando o experimentador tiver colocado os dois casos discutidos no teste experimental ele verá que os tamanhos dos ângulos de refração, do ar para o vidro e do vidro para o ar, serão sempre iguais se o ângulo da linha, ao longo daquela luz, se estender ao ponto de refração de modo normal, quando [a luz] é refratada do ar para o vidro, for igual ao

ângulo da linha, ao longo da luz que se estende do ponto de refração de modo normal quando é refratada do vidro [no ar] (*Ibid.*, p. 254)³⁶.

Portanto, essa demonstração experimental do princípio de reciprocidade, mesmo que formulada empiricamente, antecipa os resultados que Newton apresentou ao fazer uso da lei de refração adequadamente para assim encontrar a proporção existente, nos desvios dos raios que atravessam, dos meios menos densos para os mais densos e vice e versa. Smith, em sua Introdução crítica ao *De aspectibus*, nos mostra como Alhazen realiza demonstração geométrica do comportamento da luz ao aplicar o princípio de reciprocidade:

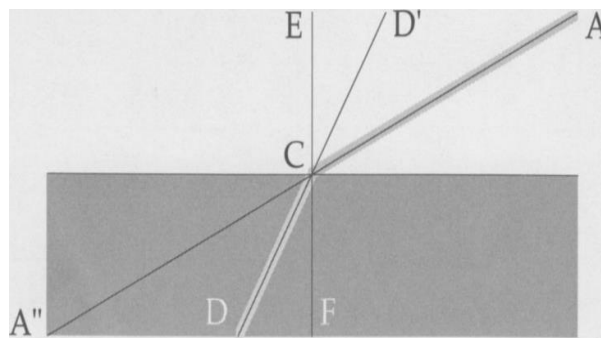


Figura 3 (*Ibid.*, p. 408)

Nessa figura se observa que a explicação de Alhazen segue em conformidade com a dinâmica dos raios em meios refratores, assim como também foram demonstrados por Newton. AC, sendo o raio que sai do meio mais denso na direção CD, que é o meio menos denso, sofrerá o mesmo desvio do raio DC, que sai do meio menos denso para o mais denso que é CA. Como se pode ver, a simetria dos desvios ACD é mesma em DCA sem que com isso Alhazen aplique a relação existente entre os senos de incidência e os de refração. Sendo assim aperfeiçoado por Newton, observa-se que, no teste experimental de Alhazen, aplicou-se a lei de refração para a demonstração dessa simetria.

Ao observar a necessidade de se fazer um recorte histórico-filosófico para entender a transição da óptica geométrica, mais sensitiva, para a física óptica, mais mecânica, o movimento, como um dos atributos da extensão, abre a problemática da identidade existente entre espaço e matéria em Descartes. Se o espaço é infinito, ele também é imóvel, e suas

³⁶ “And when the experimenter has put the two cases just discussed to the experimental test, he will see that the sizes of the angles of refraction from air to glass and from glass to air will Always be equal if the angle that the line along which the light extends to the point of refraction forms with the normal, when [the light] is refracted from air into glass, is equal to the angle that the line along which the light extends from the point of refraction forms with the normal, when it is refracted from glass [into air]”.

consequências, matemática, metafísica e cosmológica trazem uma discussão sobre o conceito de extensão. Os corpos, portanto, estão cheios de matéria em movimento, ocupam apenas um lugar do espaço imóvel, e introduzir nos corpos a divisibilidade infinita implicará em aceitar um atributo divino na extensão da matéria. O conceito de extensão despertará, na Filosofia moderna, uma reflexão significativa sobre o significado do movimento, conforme capítulo a seguir.

Capítulo 2 - O espaço infinito no conceito de extensão da Filosofia moderna

2.1) O conceito de infinito na astronomia renascentista

A concepção de infinito é fundamental para o desenvolvimento da astronomia renascentista; ela brota da necessidade de se fazer uma cosmologia independente da interpretação aristotélica do universo, que adota a noção de finito para conceber uma cosmologia perfeita reafirmada pela ciência medieval. O infinito, para Aristóteles, é a negação do finito, isto é, uma existência “acidental” que não pode ser “atual”, mas que designa uma disposição de grandeza; o finito, que pode ser potencial, ao ser percorrido completamente, passa a ser atual (Cf. ARISTOTE, *Physics*, III, p. 5). O que isto significa? Se não há uma determinação substancial para o infinito, sua incompletude implica imperfeição; por isto, o infinito é negativo, já que por ele não se pode chegar a um percurso completo nem de perfeição, que poderia determinar sua substância. A ideia de perfeição tem por símbolo a circunferência que, embora não possamos determinar seu início e fim, podemos percorrê-la completamente através de seu raio.

Nicolau de Cusa (1401-1464), autor de *A douta ignorância*, ao rejeitar a cosmologia medieval contribuiu significativamente para o desenvolvimento da ciência moderna, adotando a noção de universo indeterminado:

E, por conseguinte, o mundo não tem circunferência. Na verdade, se tivesse centro, teria circunferência, e, assim, teria dentro de si o seu início e seu fim, e ele seria delimitado relativamente a alguma outra coisa e fora do mundo haveria outra coisa e outros lugares. Todas estas coisas carecem de verdade. Por isso, como não é possível que o mundo seja fechado entre um centro corpóreo e uma circunferência, o mundo é ininteligível e o seu centro e circunferência são Deus (2003, pp. 112-3).

Dessa forma, pode-se identificar que Nicolau de Cusa se opõe à concepção aristotélica de universo limitado, apresentando uma questão cosmológica muito importante: a existência de algo além da circunferência; neste caso, a circunferência está cercada de espaço, que não só permite sua circunscrição, mas também a existência de uma cosmologia descentralizada. Por esse motivo, conclui-se que toda circunferência possui centro, mas isso não significa que seja centro de todo espaço; o centro só o é em relação ao espaço interno de sua circunferência. Em todo caso, a existência de uma circunferência sem centro é impensável, por um lado,

tendo em vista que sua forma só é possível a partir de um ponto equidistante que determina seu raio; por outro lado, numa cosmologia descentralizada, qualquer ponto pode ser o centro do espaço, e o centro pode estar em algum lugar ou em lugar nenhum. O que Nicolau de Cusa pretende, com a defesa de uma cosmologia descentralizada, é desenvolver uma astronomia fundamentada na concepção de universo indeterminado; mais do que isso, pretende também elaborar uma astronomia fundamentada numa Metafísica teológica.

Para desenvolver sua astronomia, Nicolau de Cusa parte da seguinte ideia: “E embora o mundo não seja infinito, contudo, não pode ser concebido como finito, porque está privado de limites entre os quais esteja encerrado” (*Ibid.*, p. 113). Dessa forma, observa-se que, para ele, não podemos afirmar a finitude ou infinitude do mundo, segundo o qual só podemos considerar sua indeterminação, uma vez que não existe uma precisão rígida para sua concepção. Segundo Koyré, a falta de precisão e estabilidade do mundo criado leva Nicolau de Cusa a considerar a não existência de um eixo constante fixo (1979, p. 24); ou seja, o eixo da Terra e dos astros muda de lugar, realizando uma rotação irregular. É como se o eixo se deslocasse continuamente, de modo que o movimento dos astros só fosse permitido por essa falta de estabilidade em suas revoluções.

Ademais, a falta de precisão é uma das características nos movimentos dos astros, cuja forma irregular faz perder o centro do mundo. Para Nicolau de Cusa, não existe, por exemplo, uma esfera de estrelas fixas:

Logo a Terra, que não pode ser o centro, não pode ser privada de qualquer movimento. Assim, é necessário que ela se mova de tal maneira que se poderia mover infinitamente menor. Por isso, assim como a terra não é o centro do mundo, também a esfera das estrelas fixas não é a sua circunferência, ainda que comparando a terra com o céu, a terra pareça mais perto do centro e o céu mais perto da circunferência (2003, p. 113).

A partir disso, é possível identificar que sua astronomia levantou a questão da descentralização do mundo, em virtude de não haver circunferência, tanto nas revoluções dos astros quanto na abóbada celeste³⁷. Se a Terra não pode ser o centro, podemos chegar à

³⁷ Embora Nicolau de Cusa apresente certo receio ao considerar o universo infinito, ele nos mostra que neste, “[...] dada a resistência da possibilidade de ser, ou matéria, não extensível até ao infinito em acto, o universo não pode ser maior. [...] E, deste modo, é infinito de modo privativo” (*Ibid.* p. 70). A atualidade infinita pertence a Deus, que não está privado do que quer que seja, enquanto o universo, se fosse maior em ato, seria perfeito, eterno e não estaria privado de nada; portanto, Deus é extensível ao infinito porque ele contém tudo

conclusão de que seu movimento não é uma circunferência; dessa forma, seu movimento é irregular, por consequência, a formação da abóbada celeste passa a ser irregular, porque, além de deixar de ser uma circunferência, a forma da Terra não é um círculo perfeito. Como podemos traçar o centro do universo, se o movimento dos astros é irregular, devido às suas revoluções e sua forma circular imperfeita?

Pode-se inicialmente aceitar a existência de um centro, que não é físico, mas metafísico teológico: “Portanto, aquele que é o centro do mundo, isto é, Deus bendito, é o centro da terra, de todas as esferas e de tudo o que há no mundo. E é, ao mesmo tempo, a circunferência infinita de tudo” (*Ibid.*, p. 113). O centro ao qual se refere é certamente o centro do círculo perfeito; somente um círculo perfeito possui centro e, se o mundo físico é matéria, logo corruptível, não cabe a esse mundo o atributo de perfeição. Como esse atributo só pertence a Deus, não é difícil imaginar que o círculo perfeito o represente metafisicamente e que a descentralização do mundo físico seja o resultado da imperfeição da matéria. Portanto, sendo a matéria imperfeita, seu movimento também será imperfeito e descentralizado, uma vez que é matematicamente impossível encontrar o centro do mundo físico cuja forma esférica é irregular.

Como não há um polo fixo na esfera, é evidente que não se encontra nenhum ponto médio que seja de certo modo equidistante dos polos. Não há, pois, estrela na oitava esfera que por revolução descreva o círculo máximo, porque seria necessário que estivesse a igual distância dos polos que não existem. E, por conseguinte, não há [nenhuma] que descreva o círculo mínimo (*Ibid.*, p. 114).

Se o mundo possui centro ou não, essa é uma questão que perturba a tradição ptolomaica, pois, na astronomia de Nicolau de Cusa, a rejeição da Terra como centro tem, por consequência, a rejeição de qualquer centro, o que o leva ao relativismo do movimento. No entanto, essa rejeição dá um novo passo para a astronomia renascentista, colocando em questão a própria definição afirmada pela tradição ptolomaica: a do mundo finito, centralizado na Terra, de movimento aparente, cuja abóbada celeste estabelece o limite final do sistema geocêntrico. Nem por isso pode-se afirmar que Nicolau de Cusa concebeu um mundo infinito, pois o universo cusano é intérmino (*interminatum*), isto é: “Ele nunca alcança o ‘limite’; o mundo é, no sentido pleno da palavra, *indeterminado*. Por conseguinte, não pode ser objeto de

positivamente, e o universo é infinito privativamente porque, além de ser infinitamente negativo e nada conter, é uma criatura concebida por Deus.

conhecimento total e preciso, mas apenas de conhecimento parcial e conjectural” (KOYRÉ, 1979, p. 18)³⁸.

Um mundo sem centro e sem limites é um mundo sem estabilidade; mas não parece, por exemplo, que a precisão e a rígida determinação sejam aspectos relevantes na construção da astronomia de Nicolau de Cusa, tendo em vista que suas objeções são perfeitamente aceitáveis, tanto do ponto de vista lógico quanto do matemático. Nesse sentido, a lógica formal aristotélica só é adequada a noções finitas, mas se torna inadequada à astronomia cusana, que atribui ao mundo uma qualidade indeterminada, sem limites, e à noção metafísico-teológica, que inclui o infinitamente grande, isto é, Deus (Cf. RONAN, 2001, p. 65). Do ponto de vista matemático, se o círculo é uma “[...] superfície plana delimitada por uma curva (circunferência) cujos pontos estão todos situados a igual distância do centro” (GOLDSTEIN, 1998, p. 151)³⁹, o mundo só pode ter sua forma esférica, ou seja, uma circunferência imperfeita, cujo aspecto achatado torna impossível conceber o centro do mundo.

Em todo caso, a astronomia renascentista dá a sua maior contribuição com o advento da chamada revolução copernicana⁴⁰. Sabe-se que Nicolau Copérnico (1473-1543), ao desenvolver seu sistema heliocêntrico, desencadeou não só a crise da ciência medieval, mas também a do pensamento europeu; e, apesar de ser cuidadoso com o que fez da astronomia, antes mesmo *Das revoluções dos corpos celestes* ser publicado, em 1543, incitou a oposição religiosa manifestada pela cultura medieval e também por Lutero, que afirmara: “O louco vai virar toda a ciência da astronomia de cabeça para baixo. Mas, como declara o Livro Sagrado, foi o Sol e não a Terra que Josué mandou parar” (RONAN, 2001, p. 69). A reprovação da astronomia copernicana se baseou não somente na Escritura, mas também na sua conexão

³⁸ Grifo do autor. Koyré também afirma que Nicolau de Cusa evita afirmar a infinitude do universo, atribuindo esse qualificativo somente a Deus; essa também é a posição adotada por Descartes, questão que veremos mais adiante.

³⁹ “[...] superficie plana delimitada por una curva (circunferencia) cuyos puntos están todos situados a igual distancia del centro”.

⁴⁰ Em *Os filósofos e as máquinas*, Paolo Rossi faz uma espécie de genealogia histórica do uso das máquinas do século XV ao XVII, mostrando o tipo de relação que as artes mecânicas mantêm com a academia e a economia da sociedade. Em relação à academia, as artes mecânicas eram vistas como um trabalho inferior porque demandavam mais habilidade manual do que intelectual; mas com a ascensão da burguesia e a consolidação das monarquias, a valorização as artes mecânicas se torna essencial para o desenvolvimento das ciências, exercendo sua colaboração, no sentido prático e técnico, sobre as ciências que terão o papel de atender às necessidades do uso de artilharias, no caso da Física, da navegação, no caso da geografia e astronomia, do uso de medicamentos e atendimento aos feridos, em ocasião de guerra, no caso da medicina. Cf. ROSSI, 1989, p.27.

com o sistema ptolomaico, que satisfazia os dogmas religiosos cultivados pela fé cristã e pela ciência medieval.

Os interesses oscilavam na conexão do sistema ptolomaico à Sagrada Escritura, à cultura da ciência medieval, à superioridade do homem, que não só fazia parte do centro do sistema do mundo, mas era, ele mesmo, o próprio centro; portanto, o homem sai de seu trono para habitar um lugar à margem do processo de criação divina⁴¹. Tudo isso desencadeia a crise da ciência e da consciência europeia, que perderam a referência fixa da estabilidade da Terra com o sistema copernicano. Desta forma, a astronomia toma como ponto de partida a crítica ao pensamento aristotélico, que foi dogmaticamente cultivado pelos medievais, embora permaneça presente na astronomia copernicana, ao conceber um mundo finito, por exemplo. Como a ciência medieval se aprisionou à ciência aristotélica, que de certa forma impedia o avanço da ciência, o primeiro passo da ciência renascentista foi o de introduzir novos conceitos na reconstrução da ciência.

Viu-se, anteriormente, que Nicolau de Cusa concebeu um modelo de mundo indeterminado, cujos astros, por sua forma esferoide, não podiam fazer revoluções regulares devido à falta de estabilidade no movimento e a ausência de centro no mundo. Ao atribuir uma posição determinada e centralizada do Sol, Copérnico afirma⁴²:

Compete-nos notar desde o início que o Universo é esférico ou porque seja esta a forma mais perfeita de todas, um todo inteiro sem qualquer junção das partes; ou porque ela própria seja a mais capaz das figuras e maximamente conveniente para encerrar e conservar todas as coisas; ou

⁴¹ O período medieval, sob forte influência da tradição grega, desenvolveu uma ciência impregnada do pensamento aristotélico, difundindo o sistema ptolomaico como paradigma oficial da Escola. No entanto, a ciência medieval se manifestou de forma diversa no oriente ao romper com a tradição grega, desenvolvendo uma ciência independente da Filosofia aristotélica, principalmente no que diz respeito à Física, Astronomia, Alquimia, Medicina e Matemática; no caso da Astronomia, o *Almagesto* de Ptolomeu só foi traduzido para a língua árabe no século IX e, antes disso, o mundo islâmico desenvolveu uma astronomia diferente da dos gregos. Com isso, o cálculo das posições dos planetas é concebido segundo fontes indianas, com Zij-Sindhind, por volta de 830 d.C. Segundo Benoit e Micheau, “[...]os astrônomos árabes podem colocar em funcionamento meios de cálculo e de observação mais potentes que àqueles de que dispuseram os gregos. Bebendo nas fontes índias, utilizam o número decimal e desenvolvem a trigonometria” (BENOIT, MICHEAU, 1998, p. 187). “[...] los astrónomos árabes pueden poner en marcha medios de cálculo y de observación más potentes que aquéllos de que disponían los griegos. Bebiendo en las fuentes indias, utilizan la numeración decimal y desarrollan la trigonometría.”

⁴² Na verdade, a centralidade da qual Copérnico postula refere-se à explicação do movimento dos planetas em seus orbes; pois, para atribuir-lhes movimento uniforme, cada esfera em que os sete planetas viajam, está separada por uma esfera concêntrica, levando uma extensão de tempo proporcional ao tamanho das esferas. Para ilustrar isso, Copérnico afirma que a revolução de Marte, por exemplo, é realizada no período de dois anos, enquanto a revolução da Terra é anual; neste sentido, “o centro do Universo está próximo do Sol e, permanecendo este imóvel, todo movimento que aparece como seu é na realidade devido ao movimento da Terra” (COPÉRNICO, 1996, pp. 50-1).

até porque as partes mais perfeitas do Universo, isto é, o Sol, a Lua e as estrelas, se apresentem com essa forma e porque todo o Universo tende a ser por ela delimitado (1996, pp. 50-1).

Como vemos, um mundo contido e retido é um mundo limitado pela esfera de estrelas fixas, apesar de Copérnico não afirmar que o mundo seja infinito; mas um modelo de universo cuja forma é a mais perfeita de todas nos permite compreender que Copérnico precisava de um centro fixo que pudesse representar o círculo perfeito de seu sistema; mais do que isso, o centro do mundo, ao se deslocar da Terra para o Sol, não altera a concepção do mundo finito, do mundo aristotélico segundo o qual a perfeição coincide com o finito. Portanto, o mundo visível de Copérnico é imensurável:

[...] é tão grande que não só a Terra, em comparação com o céu, é “como um ponto” (o que, aliás, já tinha sido afirmado por Ptolomeu), mas também o é todo a orbe do circuito anual da Terra ao redor do Sol; e que não conhecemos nem podemos conhecer o limite, as dimensões, do mundo. Além disso, ao tratar a famosa objeção de Ptolomeu, segundo a qual “a Terra e todas as coisas terrestres, se postas em rotação, seriam dissolvidas pela ação da natureza”, ou seja, pelas forças centrífugas produzidas pela altíssima velocidade de sua revolução, Copérnico responde que esse efeito desastroso seria muito mais forte nos céus, porque seu movimento é mais rápido do que o da Terra, e que, “se esse argumento fosse verdadeiro, a extensão do céu se tornaria infinita”. Nesse caso, naturalmente, o céu teria de ficar parado; o que, embora seja finito o céu, acontece (KOYRÉ, 1979, p. 40)⁴³.

Nessa análise, Koyré nos chama a atenção para a concepção do mundo imensurável, mas limitado, cujo movimento uniforme tem sua origem na formação estável da órbita da Terra; pois o círculo perfeito permite não só a estabilidade do movimento, mas a finitude do mundo. Como vemos, a astronomia copernicana se desenvolve em função da centralização do mundo, algo que é impossível no mundo de Nicolau de Cusa. Ademais, a ideia de círculo perfeito só é desnecessária quando o mundo descentralizado flui na ausência de precisão de seu movimento.

Embora o sistema copernicano seja finito, isso não impede a plena aceitação de sua centralidade por astrônomos como Giordano Bruno, Kepler e Galileu. Giordano Bruno (1548-1600), por exemplo, desenvolve uma concepção de mundo infinito inspirado na concepção de

⁴³ A força centrífuga, que é uma força que afasta os planetas do centro do sol, é uma noção semelhante à da Física contemporânea, que acredita que o universo está em expansão; no entanto, Newton (Cf. *Mathematical principles*, Book III, 1993, p. 276) substitui esse conceito por força centrípeta, que é a força que permite os planetas permanecerem em seus orbes, atraindo-os para o centro do sol.

mundo indeterminado de Nicolau de Cusa. Sua obra *Acerca do infinito, do universo e dos mundos* está fundamentada na descentralização cusana e no heliocentrismo copernicano, fazendo uma abordagem a respeito da possibilidade de infinitos mundos. Acresça-se a isto um pensamento de caráter mágico-hermético –possivelmente introduzido na astronomia de Copérnico–, pois sua visão de mundo está inspirada na religiosidade egípcia, cuja chave da vida está no conhecimento e não na fé cega⁴⁴. Segundo Ronan, “Bruno estava imerso no hermetismo, e foi isso que motivou seu desejo de ver a Igreja retornar a ideias que refletissem a religião dos antigos egípcios” (2001, p.70). Mas esse conhecimento não é um saber científico positivo – não se deve esquecer que a astronomia é uma ciência observacional –, mas sim um saber de introspecção da espiritualidade, pois Bruno não desenvolve necessariamente uma ciência astronômica, mas uma Metafísica do infinito concentrada na ação do intelecto divino. No Diálogo Segundo, *Acerca do infinito*, Bruno estabelece uma conexão entre matéria e intelecto divino, onde:

Acresce que, como realmente se encontram corpos dimensionados finitos, assim o primeiro intelecto entende o corpo e a dimensão. Se o compreende, não o compreende menos como infinito; se o compreende infinito, e o corpo assim deve ser compreendido, necessariamente existe tal espécie inteligível, que, por ser produzida por tal intelecto qual é o divino, é realíssima, e tão real que o seu ser é mais necessário do que aquele que está actualmente diante de nossos olhos sensíveis (BRUNO, 1998, pp. 51-2).

Essa não é uma tese gratuita, pois a Metafísica bruniana é decorrente do panteísmo cujas raízes se encontram na tradição mágico-hermética. Nesse caso, Bruno concebe um intelecto divino infinito cuja onipotência implica a criação de infinitos corpos, apesar de esses corpos possuírem limites ou dimensões finitas. Mas ao apresentar uma nova imagem do universo, que é uno, infinito, indeterminado, Bruno atribui ao intelecto divino o caráter absoluto da imanência, e, desse modo, o imanentismo bruniano sustenta sua tese panteísta, tendo em vista a presença da mente divina na matéria animada. Ainda no Diálogo Primeiro, *Acerca do infinito*, Filóteo, personagem utilizado para defender a tese de Bruno, argumenta em favor da imanência absoluta de Deus:

⁴⁴ Segundo Ronan (Cf. 2001, pp.67-8), é possível que o hermetismo tenha sido a inspiração de Copérnico na elaboração do sistema heliocêntrico, em virtude da seguinte afirmação: “No meio de todos encontra-se o Sol. Ora quem haveria de colocar neste templo, belo entre os mais belos, um tal luzeiro em qualquer outro lugar melhor do que aquele donde ele pode alumiar todas as coisas ao mesmo tempo? Na verdade, não sem razão, foi ele chamado o farol do mundo por uns e por outros a sua mente, chegando alguns a chamar-lhe o seu Governador. [Hermes] Trimegisto apelidou-o de Deus visível e Sófocles em *Electra*, o vigia universal” (COPÉRNICO, 1996, pp.52-3).

Digo que o universo é “todo infinito” porque não tem limite, termo ou superfície, mas não digo que é “totalmente infinito”, porque cada parte que dele possamos tomar é finita, sendo também finito cada um dos mundos inumeráveis que contém. Digo que Deus é “todo infinito”, porque exclui de si qualquer termo, e cada um dos atributos é uno e infinito; e digo Deus “totalmente infinito”, porque está inteiramente em todo o mundo, e em cada uma de suas partes, infinita e totalmente; ao contrário da infinidade do universo, que existe totalmente no todo, e não nas partes (se se podem chamar “partes”, referindo-se ao infinito) que nele podemos compreender (*Ibid.* p. 40).

Observa-se, portanto, que Bruno, além de estender a infinitude do intelecto divino aos objetos materiais, tais objetos são colocados como partes de Deus, apresentando, desse modo, um rigoroso monismo materialista. Se o mundo não é totalmente infinito é porque possui forma, e essa forma está circunscrita na extensão do objeto material, apesar da matéria se encontrar em infinitos mundos; mas Deus, por ser totalmente infinito não possui forma, pois não podemos designar limites a um ser que agrega toda extensão dos objetos finitos em sua unidade, cujo conhecimento limita-se à extensão desses objetos. De qualquer modo, esse rigor designa uma matéria animada, que carrega em si mesma a própria divindade, o que equivale dizer que toda matéria possui alma. Deus, então, é imanente, pois está presente na matéria do universo e é idêntico a si mesmo, e, por sua onipotência, concede seu principal atributo, a infinitude, à matéria.

Pode-se, então, explicar a finitude e infinitude concomitante da matéria, se a infinitude do universo ainda não está perfeitamente assegurada? Talvez seja o caso de explicitar “a completa diferença entre a infinitude intensiva e perfeitamente simples de Deus da infinitude extensiva e múltipla do mundo” (KOYRÉ, 1979, p. 57). Nesse caso, é possível considerar a multiplicidade do mundo como um ponto ínfimo em relação à perfeita simplicidade de Deus:

Nisto estamos de acordo, quanto ao infinito incorpóreo. Mas o que obsta a que o bem não seja de admitir como ente corpóreo infinito? Ou que nos impede de pensar que o infinito, implícito no simplicíssimo e único primeiro princípio, se explana neste seu simulacro infinito e ilimitado, capaz de conter inumeráveis mundos, em vez de se exprimir em tão estreitos limites que párea vitupério o não pensar que este corpo, que se nos apresenta como grandioso e vasto, em relação à divina presença não seja senão um ponto, um nada? (BRUNO, 1998, p. 35)

Com efeito, o intelecto divino se identifica à infinitude essencial do espaço, o que faz Bruno reafirmar a infinitude dos mundos possíveis, tal como Nicolau de Cusa afirmara a

possibilidade de infinitos sóis e a possível existência de vida em outros planetas, embora conceda a extensão do mundo como algo indeterminado. Segundo Bruno:

Porque todos os que afirmam o corpo e a grandeza infinita não consideram nela meios nem extremos. Pois, quem afirma o inane, o vácuo, o éter infinito, não lhe atribui gravidade, nem leveza, nem movimento, nem região superior, nem inferior, nem média: e, colocando em tal espaço infinitos corpos como esta terra, aquela e aquela outra terra, este sol, aquele, e ainda outro, todos fazem os seus circuitos dentro deste espaço infinito, por espaços finitos e limitados, ou então à volta dos próprios centros. Assim, nós que estamos na terra, dizemos que ela está no meio, e todos os filósofos antigos e modernos, sejam de que seita forem, di-la-ão também no meio, sem faltarem aos seus princípios; como dizemos à vista do maior horizonte desta região etérea, que está à nossa volta, limitada por um círculo equidistante, em relação ao qual nós estamos como que no centro (*Ibid.* pp. 37-8)⁴⁵.

A astronomia cusana assume a posição da descentralização do mundo e que nele não podemos colocar nem “meio nem extremo”, pois, além de indeterminado, o centro está em todo lugar ou em lugar nenhum, ou como diz Bruno, “estamos como que no centro”, que não significa necessariamente estar no centro, mas implica uma possibilidade que desconhecemos. Por essa razão, é preferível seguir os vestígios da tradição hermética encontrados na *Metafísica* de Bruno, na medida em que se admite que, no universo, existem inúmeros sóis, “[...] infinitas terras, que giram à volta daqueles sóis, como estes sete giram em torno deste sol que nos é vizinho” (BRUNO, 1998, p.89)⁴⁶. Se o hermetismo se conecta à visão panteísta, onde Deus está presente nas coisas de modo significativamente mágico, isto é, na sabedoria proveniente do “sol inteligível”, que se revela nas coisas do mundo, o culto ao Sol se revela para estabelecer seu contraste com o culto à mente. Por isso mesmo o Sol está como que no centro do mundo, mas não pode sê-lo em relação ao universo de infinitos sóis, que comandam o movimento de seus mundos possíveis.

Ademais, Giordano Bruno estabelece uma significativa distinção entre mundo e universo no *Diálogo Segundo Acerca do infinito*, quando Filóteo, afirma que:

A diferença está muito divulgada fora da escola peripatética. Os estóicos fazem distinção entre o mundo e o universo, porque o mundo é tudo o que é pleno, e consta de matéria sólida; o universo não é só

⁴⁵ Segundo Koyré (1979, p. 262), “o espaço de Bruno é um vazio; mas em parte alguma esse vazio é realmente vazio: por toda parte está cheio de ser. Um vácuo com nada que o enchesse seria limitação ao ato criativo de Deus e, além disso, um pecado contra o princípio de razão suficiente, que proíbe a Deus tratar qualquer parte do espaço de maneira diferente de qualquer outra”.

⁴⁶ Refere-se aos planetas do sistema solar, excluindo Netuno e Plutão, que, na época, ainda não eram vistos.

mundo, mas também vácuo, o inane, e o espaço fora daquele; por isso dizem o mundo finito, mas o universo infinito (*Ibid.*, p. 54).

Assim, o universo é muito maior que o mundo, já que este tem como limite físico um firmamento circular imperfeito que, além dele, há um espaço que o circunscreve infinitamente. Portanto, é verossímil comparar o universo a Deus, que não está contido, para mostrar um mundo contido na extensão do espaço infinito. Além disto, esse mundo só é compreendido pela mente divina, “[...] que é como alma da alma, que está toda em tudo, e faz que a alma exista toda em tudo; e este move no instante” (*Ibid.*, p. 47).

Desse modo, a alma da alma do mundo, que contém o mundo material enquanto princípio do movimento dos corpos, tem o poder de regular a estabilidade do mundo através do movimento instantâneo, algo não menos semelhante à cosmologia cusana que, do ponto de vista metafísico-teológico, atribui apenas ao infinitamente grande o princípio de estabilidade que está em toda a parte do universo e em parte alguma da matéria.

2.2) O conceito de infinito na astronomia moderna

As polêmicas da astronomia renascentista, em torno da qual se concebe a extensão do mundo, é doravante importante para o desenvolvimento da astronomia moderna sem, no entanto, estabelecer definitivamente uma conclusão acerca do problema do infinito. As convicções religiosas e metafísicas certamente foram decisivas para o conceito do infinito; mas haveria de surgir uma astronomia com a qual a ciência positiva pudesse, pelo menos, atenuar o problema remanescente. É com Johannes Kepler (1571-1630) que a astronomia, enquanto ciência positiva, brota como um saber que rejeita o conceito de infinito.

Kepler, discípulo e ajudante de Tycho Brahe (1546-1601), destacou-se com sua grande habilidade Matemática, dom que o levou a desenvolver uma astronomia aliada às observações planetárias que pudesse explicar o verdadeiro movimento dos planetas. Na verdade, Kepler corrigiu a concepção de movimento planetário elaborada por Tycho Brahe, que não abandonou o geocentrismo ptolomaico, mas que, ao mesmo tempo, introduziu o heliocentrismo somente em relação ao movimento orbital dos planetas, excluindo o da Terra. O movimento orbital fornecido na astronomia de Tycho ocorre da seguinte maneira: a Terra é o centro do mundo e, por essa razão, o Sol faz seu movimento orbital em torno da Terra; no entanto, os demais planetas fazem seus movimentos orbitais em torno do Sol (RONAN, 2001, p. 87); nesses termos, pode-se concluir que a astronomia de Tycho é, evidentemente, uma

união entre geocentrismo e heliocentrismo, mas que foi rejeitada por Kepler quando buscou mostrar a importância de uma astronomia limitada aos fenômenos visíveis e à Matemática (KOYRÉ, 1979, p. 63).

No decorrer de sua investigação, não foi isso o que Kepler observou no movimento dos planetas. Graças às observações sobre o movimento orbital de Marte, Kepler pôde constatar que tanto a teoria de Copérnico (onde o movimento orbital é feito num círculo perfeito) quanto a de Tycho (que postula a união entre geocentrismo e heliocentrismo) estavam erradas e, de acordo com os cálculos que desenvolvera, o comportamento de Marte se adequou ao movimento elíptico (RONAN, 2001, pp. 77-9). Os resultados dessa constatação mostram, em *A nova astronomia*, obra em que Kepler corrobora a teoria da qual se faz necessário quebrar a tradição dos astrônomos anteriores, a saber, Copérnico e Brahe, após defenderem o movimento circular perfeito dos orbes planetários (*Ibid.*) A infinitude, por exemplo, foi um conceito introduzido na astronomia renascentista, e que, muitas vezes, compartilhou de sua concepção metafísico-teológica. Para Kepler, a ciência não se desenvolve por meio da revelação; ao contrário, a observação e a harmonia Matemática são procedimentos que sua astronomia considera relevantes para a rejeição do conceito de infinito:

No entanto, o que Kepler contrapõe a Bruno e àqueles que compartilham de seus pontos de vista não é esta concepção da ação criadora de Deus, e sim uma concepção de uma ciência astronômica baseada nos fenômenos e limitada por eles. Assim, discutindo a interpretação a ser dada ao aparecimento de uma nova estrela ao pé do *Serpentarius*, Kepler levanta a questão de este fenômeno extraordinário e notável não implicar a infinitude do universo (KOYRÉ, 1979, p. 63).

Ou seja, a ciência kepleriana limitar-se-á à aparição dos fenômenos, pois o objeto da astronomia limita-se àquilo que pode ser observado e quantificado. Mas Bruno argumenta que “[...] o infinito não pode ser objeto dos sentidos; por isso, quem procurar conhecê-lo por essa via, é como quem quisesse ver com os olhos a substância e a essência” (BRUNO, 1998, p. 28). Em consequência disto, tudo aquilo que está além dos sentidos não poderá ser excluído da ciência. Mais uma vez, Kepler é resoluto na construção de sua astronomia, tendo em vista que o problema do infinito não pode ser resolvido com observações. Portanto, ao delimitar o objeto da astronomia, considerando a aparição dos fenômenos visíveis que determinam sua delimitação, Kepler busca combater a concepção de infinito definida pela astronomia anterior, por conseguinte: “Nós lhes mostraremos que, admitindo a infinidade das estrelas fixas, eles se

envolvem em labirintos inextricáveis. Além disso, nós arrancaremos deles, se possível, essa imensidão: então, essa teoria ruirá por si própria” (KEPLER, *Apud in KOYRÉ*, 1979, p. 64). Ademais, o sistema kepleriano precisa de um centro fixo, sem o qual o movimento elíptico dos planetas não poderá se circunscrever; mas esse centro certamente não é o de um círculo perfeito, pois a elipse, que define o movimento orbital dos planetas, não possui raios equidistantes.

É certo que a astronomia kepleriana se baseia num mundo óptico finito, já que os objetos visíveis são vistos por sua forma, que é dotada de limite; e se o objeto visto é limitado, “[...] é contraditório ser infinito e ter limites, da mesma maneira que é contraditório ser infinito e ter uma proporção certa, isto é, determinada, em relação a alguma coisa finita. Conseqüentemente, nada que é visível está separado de nós por uma distância infinita” (*Ibid.*, p. 87). Portanto, Kepler se preocupa com a dimensão dos objetos finitos que, mesmo sendo vistos a uma distância imensurável, se separam do observador por uma distância finita; ou seja, cada objeto visto só o é em relação ao observador que está separado dele por uma distância visivelmente finita. Parece relevante que cada objeto visto possa ser comparado com a noção de objeto infinito de Bruno, pois este o considera como tal, pelo atributo de perfeição divina, que pode dotar um objeto de infinitas partes. Portanto, podemos concluir que, para Kepler, a contradição existente entre objeto finito e infinito é pensada a partir da impossibilidade de se observar o infinito, visando uma astronomia voltada para o mundo óptico, cujos objetos são visíveis, seja a olho nu ou com o uso de telescópio, como fez Galileu.

Galileu Galilei (1564-1642), considerado um importante fundador da Física Matemática, foi quem desenvolveu a astronomia instrumental com o uso do telescópio, instrumento que o tornou capaz de observar mais estrelas, além daquelas que são visíveis a olho nu, as fases do planeta Vênus, as manchas na superfície do Sol, as montanhas da Lua e as quatro luas de Júpiter⁴⁷. Apesar de usar telescópio para observar objetos celestes jamais vistos a olho nu, o problema do infinito permanece na astronomia de Galileu. Em função da

⁴⁷ O verdadeiro inventor do telescópio ainda é assunto de debate; mas, em 1608, apareceu um exemplar em Veneza, oriundo dos Países Baixos, e Hans Lipperhey, fabricante de óculos, fez o pedido de patente do instrumento; logo depois, outro oculista reivindica o mesmo pedido. O fato é que Galileu aperfeiçoou o instrumento através do conhecimento que possuía sobre perspectiva, e, quando soube da chegada desse instrumento, bastou saber que possuía duas lentes, para, a partir daí, criar o seu próprio telescópio (Cf. RONAN, 2001, p. 80).

grandeza e da distância dos objetos celestes, o telescópio aproxima o objeto invisível a olho nu para perto do observador, reduzindo a distância e ampliando a perspectiva do objeto.

O problema do infinito permanece embora o uso do telescópio venha a ser uma razão científica para mostrar que, além dos objetos visíveis, existem objetos invisíveis a olho nu. Segundo Koyré, Galileu não assume posição diante do problema, embora tenha inclinações para aceitar a hipótese do infinito:

Parece não ter-se resolvido, ou mesmo que, embora se incline para a infinitude, considera a questão insolúvel. Galileu não esconde, naturalmente, que em oposição a Ptolomeu, Copérnico e Kepler, ele não admite a limitação do mundo ou o crê fechado por uma *esfera* real de estrelas fixas (KOYRÉ, 1973, p. 96).

Com efeito, Galileu prefere assumir a posição contrária aos astrônomos anteriores a ele por considerar preferível a possibilidade da extensão infinita do mundo, pois o conhecimento sobre o assunto ainda é bastante insuficiente:

E, primeiro, vós supondes que as estrelas do firmamento estejam todas colocadas em um mesmo orbe; o que é tão duvidoso de saber-se, que nem vós nem outros jamais isso provará pela eternidade; e ficando no conjectural e no provável, direi que nem mesmo quatro das estrelas fixas, quanto menos todas, estão igualmente distantes de qualquer ponto que desejásseis tomar no universo (GALILEI, 2005, p. 488).

Com sua habilidade Matemática, Galileu toma a hipótese do infinito como um algo possível de ser admitido, como se vê em sua troca de correspondência com Ingoli, pois a impossibilidade de medir as distâncias das estrelas fixas visíveis também envolve o tamanho delas, e a imagem projetada no olho do espectador não representa seu tamanho real ⁴⁸. É difícil responder, por exemplo, se as estrelas fixas estão dispostas no mesmo orbe ou se essa

⁴⁸ Francesco Ingoli, interlocutor de Galileu, foi professor de Matemática da Universidade de Pádua e, em um debate ocorrido entre os dois, em Ravena, Ingoli rejeitou a tese copernicana. Em seu tratado *De situ et quiete Terrae contra Copernici systema disputatio*, Ingoli expõe os argumentos para os quais Aristóteles, Ptolomeu e Tycho Brahe, segundo o que ele defende, confirmam sua tese sobre a paralaxe. Mas Galileu só adquire esse tratado em 1616, e, antes de respondê-lo, espera uma ocasião mais favorável para responder às objeções feitas ao sistema copernicano, que foi proibido pela Igreja de ser ensinado na academia. Como Galileu tinha o objetivo de impedir que a Igreja condenasse a astronomia de Copérnico, a ocasião mais favorável para responder as objeções de Ingoli só ocorreu oito anos mais tarde, com a nomeação do papa Urbano VIII, que substituiu o papado de Gregório XV, pontífice aliado aos setores mais tradicionais e repressores da Igreja. Galileu mantém uma relação amistosa com Urbano VIII, a quem dedica a obra *O ensaiador*, e o conhece desde 1593; Urbano VIII o defende, na ocasião da denúncia e do processo de 1616 em que Galileu precisou abjurar para continuar suas pesquisas; apesar de protegê-lo, Urbano VIII defendeu a tese ptolomaica, que concorda com as Escrituras Sagradas, argumentando que se Deus é onipotente, pode fazer com que o Sol gire em torno da Terra, e aconselhou Galileu a se afastar dos assuntos teológicos e dedicar-se à pesquisa dos dois sistemas do mundo (o ptolomaico e o copernicano) na condição de hipótese (Cf. MARICONDA, 2005, pp. 443-7).

disposição tem forma esférica; para Galileu, “...nem vós nem outro homem no mundo saiba ou possa humanamente saber, não só qual seja sua figura [do firmamento], mas se ele tem alguma figura” (GALILEI, 2005, p. 484). Para ter forma, o mundo deve ser aceito como finito, caso contrário, deve ser admitido como infinito; nesse ponto, os astrônomos da época estavam de acordo, pelo que é visto Bruno afirmar, em contrapartida, Kepler negar.

Apesar de Galileu não afirmar abertamente que o mundo é infinito, ele parece hesitar ao afirmar que é “absolutamente impossível que haja um espaço infinito acima das estrelas, pois não existe tal lugar no mundo; e se houvesse, a estrela ali situada seria imperceptível para nós” (GALILEI, *Dialogo, Giornata terza*, 2008)⁴⁹. Parece contraditório, pois ele, no *Diálogo*, afirma que “[...] nem eu, nem tu, nem qualquer outro homem jamais provou que o mundo é finito e dotado de uma forma, ou, pelo contrário, infinito e indeterminado” (*Ibid.*)⁵⁰. Mas, se Galileu afirma que é difícil provar que o firmamento esteja contido no mesmo orbe, parece razoável admitir que a ciência Matemática fundada por ele só demonstra os fatos dos quais é possível deduzir efeitos. Além disto, seu método compositivo e resolutivo estabelece uma relação funcional entre fatos e leis naturais; isto é, enquanto neste caso se deduz das leis naturais um grande número de fatos, naquele, reúne-se, numa fórmula Matemática, o maior número de fatos observados (BRÉHIER, 1929, p. 11). Portanto, a combinação entre demonstrações matemáticas e fatos observados o permite prever fenômenos; se a ideia de infinito se limita a conjecturas, a impossibilidade da aplicação de um método para que seus fatos possam ser demonstrados, torna-se mais difícil ainda prever fatos novos como efeitos do infinito, pois o escrutínio da Física Matemática é o que define as formas geométricas e os fatos determinados ou determináveis.

Galileu afirma que: “Se é verdade que, para um efeito, há apenas uma única causa primordial, e que entre a causa e o efeito há uma conexão firme e constante, cada vez que se constata uma mudança firme e constante no efeito, há necessariamente uma mudança firme e constante na causa” (GALILEI, *Dialogo, Giornata quarta*, 2008)⁵¹; e como a relação de causa e efeito deve-se à conexão entre demonstração Matemática e fatos, pode-se dizer que a causa é uma lei natural deduzida dos fatos e que, conseqüentemente, tal lei permite a dedução de

⁴⁹ “Impossibile assolutamente è che ella fusse per infinito intervallo superiore alle stelle fisse, perché un tal sito non è al mondo, e quando fusse, la stella posta là a noi sarebbe stata invisibile”.

⁵⁰ “[...] né voi né altri ha mai provato se il mondo sia finito e figurato, o pure infinito e interminato”.

⁵¹ “Dico per tanto, che se è vero che di un effetto una sola sia la cagion primaria, e che tra la causa e l'effetto sia una ferma e costante connessione, necessaria cosa è che qualunque volta si vegga alterazione ferma e costante nell'effetto, ferma e costante alterazione sia nella causa”.

outros fatos que sucedem à mesma causa. Qualquer alteração factual implica a mútua alteração entre causa e efeito, entre demonstrações matemáticas e fatos observados.

Como a verdade depende dessa relação, Galileu percebe a dificuldade dos astrônomos anteriores estabelecerem a conexão entre demonstração Matemática e fatos observados:

Nem gostaria que alguém atribuísse a Tycho haver convencido os outros dois de falsidade, porque, quanto ao sistema ptolomaico, nem Tycho, nem os outros astrônomos, nem o próprio Copérnico mesmo podiam abertamente convencê-lo, sendo que a principal razão deduzida dos movimentos de Marte e Vênus sempre contrariava o sentido (GALILEI, *Il saggiatore*, Cap. VI, 2008)⁵².

Segundo Timmermans, a maneira pela qual Galileu encadeia os efeitos às causas tem origem na concepção platônica e pitagórica da natureza, pois: “[...] o que é *verdadeiro* no *fato* ou *efeito*, é sua forma Matemática, sua estrutura geométrica, sua variação regulada. O fato é verdadeiro enquanto relação, razão Matemática” (TIMMERMANS, 1995, p. 68)⁵³.

Em todo caso, o problema do infinito, em Galileu, permanece latente, e parece sensato aproximá-lo de Nicolau de Cusa, que concebe um mundo intérmino, mas não infinito, mediante a impossibilidade de responder aos problemas da astronomia de forma conclusiva e precisa.

2.3) Problemas do conceito de infinito em Descartes

A abordagem sobre as incursões especulativas referentes ao conceito de infinito, por parte da ciência moderna, denotou mais um possível abandono sobre o problema do que uma solução propriamente dita a esse conceito capital da astronomia (KOYRÉ, 1979, p. 88). O posicionamento de Kepler, por exemplo, nos mostra o quanto sua astronomia está alicerçada não só por seu objeto visível, mas pela harmonia do mundo finito de Aristóteles.

Como a ciência moderna se aprofundou no desenvolvimento da explicação Matemática do mundo, cabe então investigar quais são as consequências das dificuldades

⁵² “Né meno dell’aver convinto gli altri due di falsità, vorrei che alcuno lo riconoscesse da Ticone: perché, quanto a quello di Tolomeo, né Ticone né altri astronomi né il Copernico stesso potevano apertamente convincerlo, avvenga che la principal ragione, presa da i movimenti di Marte e di Venere, aveva sempre il senso in contrario”. Galileu se justifica ao matemático Dom Virginio Cesarine, referindo-se às acusações de Sarsi contra o seu sistema.

⁵³ “[...] ce qui est *vrai* dans le *fait* ou l’*effet*, c’est sa forme mathématique, sa structure géométrique, sa variation réglée. Le fait est vrai en tant que rapport, raison mathématique.” Grifo do autor.

acerca do infinito, bem como esclarecer o modo pelo qual o conceito de extensão, que é um conceito fundamental para se estabelecer a Física Matemática, está implicado nesse problema. Vimos que Galileu não nos oferece um posicionamento claro diante do problema instaurado, e Kepler, por sua vez, argumenta em favor do mundo finito, pois a ele é razoável elaborar uma astronomia com capacidade de criar teorias sobre objetos celestes acessíveis aos sentidos. Mas ver-se-á que René Descartes (1596-1650), ao desenvolver o conceito de extensão como principal atributo da matéria, prolonga o problema do infinito sem antes resolvê-lo; pelo menos é o que Henry More (1614-1687) identifica no conceito de extensão cartesiana, ao perceber a ambiguidade no conceito de extensão como substâncias material e imaterial (DESCARTES, 1999, p. 1313)⁵⁴.

Como desenvolvimento da Física moderna teve origem na astronomia renascentista, veja-se que o conceito de espaço cartesiano, segundo Koyré (1979, p. 100), recebe uma identificação prematura com a matéria;

Descartes, ao determinar o conceito de extensão como principal atributo da matéria, precisa estabelecê-lo como substância independente somente em relação à substância pensante, pois Deus é classificado como um outro tipo de substância, segundo o qual o principal atributo é a perfeição (DESCARTES, 1999, pp. 293-4)⁵⁵; mais do que isto, a substância implica e existência de um ser que subsiste por si; pensamento e extensão não dependem um do outro para existir, ao não ser de Deus cuja infinita perfeição pode criar tudo. No entanto, a identidade entre espaço e matéria decorre da ideia de extensão, que é o principal atributo dos objetos materiais que aparecem aos nossos sentidos através de suas dimensões em comprimento, largura e profundidade. Assim, é necessário testemunhar o que Descartes pensa sobre o princípio de identidade entre espaço e matéria, nos *Princípios I*:

O espaço, ou o lugar interior, e os corpos que compreendem esse espaço são apenas diferentes em nosso pensamento. Pois, com efeito, a mesma extensão em comprimento, largura e profundidade, que constitui o espaço, constitui os corpos; e a diferença que há entre eles consiste apenas naquilo que atribuímos aos corpos uma extensão particular, que nós concebemos mudar de lugar com eles toda vez que é transportado, e

⁵⁴ A tese de More sobre a extensão aparece na correspondência que Descartes dirige a ele. Nela, Descartes concorda com a definição de extensão enquanto substância material, sensível, tangível e impenetrável, mas discorda da posição defendida por More, onde Deus, enquanto substância imaterial, é extenso porque subsiste por si; parece que More parte do próprio conceito de substância como algo que não depende de outrem para existir e, a partir daí, concebe a extensão imaterial, já que “subsistir por si” não só compõe o conceito de substância, mas também designa um dos principais atributos de Deus.

⁵⁵ Mais adiante veremos como Descartes pensa a infinitude de Deus.

atribuímos ao espaço uma extensão tão geral e tão vaga, que depois do corpo ter obtido certo espaço que ocupou, não pensamos também ter transportado a extensão desse espaço porque nos parece que a mesma extensão permanece sempre, enquanto é de mesma grandeza e figura, e não há mudança de situação ao notar corpos exteriores através dos quais o determinamos (DESCARTES, art. 10, 1999, p. 616)⁵⁶.

Em primeiro lugar, percebemos que espaço e lugar são concebidos como a mesma coisa, isto é, como extensão. Nesse sentido, se a extensão é inseparável da matéria, sua separação só é possível em nível de pensamento, pois o deslocamento do corpo transporta consigo a extensão e suas dimensões em comprimento, largura e profundidade. Portanto, podemos dizer que a extensão é o espaço cheio de matéria, assim como o lugar também está preenchido por matéria. A matéria, nesse caso, é substância extensa e transporta consigo apenas o espaço e lugar que ocupa. Mas espaço e lugar são modos distintos da extensão, pois o lugar ocupa uma parte do espaço que a matéria fica circunscrita, e o espaço apenas cede essa parte que a matéria ocupa. Quando Koyré afirma que Descartes identifica matéria e espaço prematuramente, nos faz pensar na existência de um espaço além da extensão da matéria, espaço que permanecerá imóvel na ocasião do movimento da matéria; assim, o deslocamento da matéria não implica mudança de espaço, mas apenas de lugar, que é uma parte do espaço com o qual o corpo é transportado⁵⁷.

Em segundo lugar, a identidade entre espaço e matéria nos permite pensar que Descartes, ao concebê-la, enfrenta dificuldades para aceitação da ideia de mundo infinito, na medida em que a extensão da matéria é limitada por um espaço que não pode ser determinado. Para Descartes, o espaço é apenas o lugar interior que a matéria ocupa.

Nesses termos, a incursão do conceito de infinito na concepção de corpo é temerária, pois Descartes, assim como Nicolau de Cusa, é extremamente cuidadoso ao definir o mundo

⁵⁶ “L’espace, ou le lieu intérieur, et le corps qui est compris en cet espace, ne sont différents aussi que par notre pensée. Car, en effet, la même étendue en longueur, largeur et profondeur, qui constitue l’espace, constitue le corps; et la différence qui est entre eux ne consiste qu’en ce que nous attribuons au corps une étendue particulière, que nous concevons changer de place avec lui toutes fois et quantes qu’il est transporté, et que nous en attribuons à l’espace une si générale et si vague, qu’après avoir ôté d’un certain espace le corps qui l’occupait, nous ne pensons pas avoir aussi transporté l’étendue de cet espace, à cause qu’il nous semble la même étendue y demeure toujours, pendant qu’il est de même grandeur, de même figure, et qu’il n’a point changé de situation au regard des corps de dehors par lesquels nous le déterminons”.

⁵⁷ Newton, por exemplo, acredita que o conceito de espaço deve ser desdobrado em espaço relativo e absoluto para não confundirmos extensão e lugar, como foi o caso de Descartes; o espaço relativo é uma medida sensível que nos permite compreender que um determinado corpo se desloca de um lugar para outro, levando consigo apenas sua extensão e seu lugar relativo, sem, no entanto, deslocar o lugar ocupado; já o espaço absoluto é esse lugar que o corpo não transporta consigo, pois permanece imóvel e não altera o deslocamento do corpo de um lugar para outro. Cf. NEWTON, *Mathematical principles*, Book I, 1993, p. 9.

como algo indeterminado; é preferível que, na concepção de corpo, cujo principal atributo é a extensão, o mundo seja compreendido num espaço indeterminado, pois o infinito não é atributo dos objetos corpóreos, mas da substância divina que cria tais objetos. Para Koyré, a interpretação de Descartes sobre o mundo cusano é plausível, embora não lhe atribua a qualidade de mundo indeterminado (KOYRÉ, 1979, p. 18). É o que podemos constatar através do contato de Descartes com a astronomia cusana:

Em primeiro lugar, lembro-me que o Cardeal de Cusa e muitos outros doutores supõem o mundo infinito, sem que jamais tenham sofrido repreensões da Igreja por esse assunto; ao contrário, acredita-se que é honrar a Deus ao conceber a grandiosidade de suas obras. E minha opinião é menos difícil de receber do que a deles, pois não digo que o mundo seja *infinito*, mas apenas *indefinido*. Nisso há uma diferença muito notável: pois, para dizer que uma coisa é infinita, deve-se ter alguma razão que a faça conhecê-la, o que não se pode ter a não ser apenas de Deus; mas para dizer que ela é indefinida, basta não ter razão pela qual se possa provar que ela tenha limites (DESCARTES, *Correspondence*, 1999, p. 1273; grifo do autor)⁵⁸.

Segundo esta declaração, não se vê Descartes atribuir ao mundo cusano a concepção do infinito; mas, segundo a primeira seção deste capítulo, o mundo intérmino só é concebido por Nicolau de Cusa para mostrar a possibilidade de existir vários mundos, para identificar a falta de precisão e estabilidade na explicação do universo. Já o mundo cartesiano, concebido como indefinido por causa do ato criativo de Deus, é determinado pela substância divina que tem o poder de criar infinitos corpos sem perder a qualidade de perfeição; algo impensável quando se trata da matéria, que é precívél e imperfeita, motivo pelo qual Descartes prefere concebê-la como indefinida. Portanto, o mundo, em sua extensão, não pode ser definido como infinito, pois o infinito não pode ser percebido pelos sentidos como uma qualidade produzida pela matéria.

Tem-se, por um lado, a identificação entre espaço e matéria no mundo cartesiano, por outro, a extensão como substância da matéria indeterminada. Por essa razão, Koyré estabelece um confronto entre Henry More e Descartes na troca de correspondência. Àquele, mostra e questiona o receio deste em aceitar a infinitude da matéria, por considerá-la divisível em

⁵⁸ “En premier lieu, je me souviens que le Cardinal de Cusa et plusieurs autres docteurs ont supposé le monde infini, sans qu’ils aient jamais été repris de l’Église pour ce sujet; au contraire, on croit que c’est honorer Dieu, que faire concevoir ses œuvres fort grands. Et mon opinion est moins difficile à recevoir que la leur; parce que je ne dis pas que le monde soit *infini*, mais *indéfini* seulement. En quoi il y a une différence assez remarquable: car, pour dire qu’une chose est infinie, on doit avoir quelque raison qui la fasse connaître telle, ce qu’on ne peut avoir que de Dieu seul; mais pour dire qu’elle est indéfinie, il suffit de n’avoir point de raison par laquelle on puisse prouver qu’elle ait des bornes”.

partes indefinidas, mas também se opõe à concepção cartesiana de unidade entre matéria e extensão (KOYRÉ, 1979, p. 114). Vejamos o que pensa Descartes sobre esse assunto:

I. O primeiro aspecto sobre a definição do corpo: *porque afirmo que o corpo é uma substância extensa antes que uma substância sensível, tangível ou impenetrável? Mas você adverte que a própria natureza da coisa diz respeito a uma substância sensível e se define o corpo por sua relação aos sentidos; dessa matéria, se toma relação apenas de uma de suas propriedades, não de sua natureza inteira, que, podendo mesmo existir, se houvesse homens, nem por isso depende certamente de nossos sentidos. Não vejo motivo para dizer que é muito necessário que toda matéria seja sensível (DESCARTES, 1999, p. 1312; grifo do autor)⁵⁹.*

Se por um lado a sensação, para Descartes, é uma qualidade da matéria que não define a extensão, por outro, ela é um modo de pensar que mistura propriedades das substâncias extensa e pensante. Segundo Descartes, não podemos definir a matéria somente em relação aos sentidos, temos de saber em que condições ela pode ser definida. Em primeiro lugar, a extensão é o principal atributo da matéria e não depende da substância pensante para existir; por sua vez, o sentir, por ser um modo de pensar, não pode ser definido como substância, pois o conceito de substância, em Descartes, é uma ideia clara e distinta de coisas segundo a qual sua existência é independente em relação às outras. Nos *Princípios I*, art. 51-52, a existência por si é definida como ato criativo de Deus, que possui superioridade hierárquica em relação às substâncias pensante e extensa (DESCARTES, 1999, pp. 594-5); o sentir, portanto, tem a sua origem na matéria, que se mistura ao pensamento para produzir ideias confusas e obscuras, e oculta a clareza e distinção das substâncias pensamento e extensão. Em segundo lugar, o sentir é uma qualidade da alma que recebe da matéria as propriedades da extensão, sem, todavia, possuir existência independente.

Para More, a matéria é uma extensão impenetrável, introduzindo na extensão um atributo espiritual, que é o que permite a explicação da natureza para interpretá-la. Nesse caso, quando More define a extensão como substância impenetrável, em relação aos sentidos, refere-se aos objetos corpóreos como substâncias penetráveis, em oposição à substância espiritual. O que Descartes não admite é a relação que More estabelece entre a extensão e os

⁵⁹ “I. La première porte sur la définition du corps: *pourquoi je dis que le corps est une substance étendue plutôt qu’une substance sensible, tangible ou impénétrable? Mais la nature même de la chose vous avertit qu’en disant une substance sensible on définit le corps par sa relation à nos sens; de cette matière on ne rend compte que d’une de ses propriétés, non de sa nature entière, qui, pouvant exister même s’il n’y avait pas d’hommes du tout, ne dépend certainement pas de nos sens. Et je ne vois pas pourquoi vous dites qu’il est très nécessaire que toute matière soit sensible*”.

sentidos, pois a impenetrabilidade da matéria, além de ser uma consequência da substância extensa, a extensão propriamente dita não pode ser concebida como atributo do espírito.

No entanto, More observa que a identificação entre extensão e matéria prejudica a importância ontológica da própria extensão, pois matéria e espaço não são, segundo ele, a mesma coisa. A matéria é móvel no espaço imóvel, levando More a insistir na concepção de extensão material e espiritual, algo inadmissível na Metafísica cartesiana (KOYRÉ, 1979, p. 124). Se a extensão, para Descartes, é um atributo apenas da matéria, para More, a extensão é uma substância que se atribui a coisas materiais e imateriais, visíveis e invisíveis, ao corpo e a alma, espaço e espírito:

Definirei pois um *Espírito* em geral da seguinte maneira:

Uma substância penetrável e indiscerpível [inseparável].

A justeza desta definição será melhor compreendida se dividirmos a *Substância* em geral nos Gêneros primeiros seguintes: *Corpo* e *Espírito*, e, a seguir, definirmos um *Corpo*: *Uma Substância impenetrável e discernível* [separável]. Assim, o Gênero contrário é convenientemente definido: *Uma Substância penetrável e indiscerpível*. Agora, apelo para qualquer homem capaz de pôr de lado o preconceito, e que goze do livre uso de suas Faculdades, [para nos dizer] se cada termo da Definição de um *Espírito* não é tão inteligível, e conforme a Razão, como a de *Corpo*. Pois a Noção precisa de Substância é a mesma nos dois, [noção esta] na qual concebo estarem inclusas a *Extensão* e a *Atividade*, quer inatas, quer comunicadas (MORE, *Apud in* KOYRÉ, 1979, pp. 126-7; grifo do autor).

Portanto, More define espírito e corpo, ambos como substância extensa, e, enquanto o corpo é uma extensão finita por sua divisibilidade e materialidade, o espírito é uma extensão infinita por sua indivisibilidade e imaterialidade. Nesse caso, como é possível atribuir indivisibilidade à extensão, já que a matéria é divisível, em partes, e sua extensão é apenas uma ideia clara e distinta da matéria, que, segundo Descartes, é um conceito simples e indivisível? Uma resposta possível é considerar que se pode dividir a extensão, em nível de pensamento, mas nem por isso se tem uma divisão infinita, já que não temos a ideia clara e distinta de infinito. Para se ter uma ideia clara e distinta de infinito, deve-se abarcá-la completamente com o exercício da mente, em toda sua extensão, o que, do ponto de vista metafísico, é impossível na Filosofia cartesiana ⁶⁰.

⁶⁰ Em Descartes, não se pode conceber uma ideia clara e distinta de infinito, pois o entendimento não consegue abarcar toda sua extensão; no entanto, o termo infinito designa a substância de Deus, mas que não pode ser compreendido, no sentido de ser impossível abarcar seus incontáveis atributos. Por um lado, seria uma pretensão

Segundo Descartes, a ideia clara e distinta da figura é uma concepção geométrica, na medida em que ela circunscreve a matéria em diferentes formas geométricas. A figura, por si mesma, é uma ideia clara e distinta não só porque é geométrica, mas porque se trata de um tipo de abstração da matéria operada no espírito, pois a simplicidade da extensão nela contida nos leva a considerá-la como indivisível e penetrável, apenas em nível de abstração. Já a matéria, que está fora do espírito, é impenetrável e divisível, pois ela se apresenta objetivamente aos nossos sentidos sob diversos modos da extensão, em movimento, comprimento, largura, profundidade, duração, etc. Portanto, a extensão e seus modos correspondem à matéria e a definem quantitativamente sob orientação do espírito puro e atento, através da capacidade inata do entendimento abstrair a matéria da extensão. Segundo Koyré, More identifica a ausência da distinção fundamental entre matéria e extensão em Descartes, mas a estabelece numa relação possível com o espaço:

A matéria é móvel *no* espaço, e, em razão de sua impenetrabilidade, *ocupa* espaço: o espaço não é móvel e não é afetado pela presença, ou pela ausência, de matéria nele. Assim, é impensável matéria sem espaço, ao passo que espaço sem matéria, não importa o que diga Descartes, é uma ideia não só simples como também necessária para nosso espírito (KOYRÉ, 1979, p124; grifo do autor).

Koyré nos mostra que a oposição de More é bem fundamentada, na medida em que o conceito de extensão, em Descartes, é apenas atribuído aos corpos ocupantes de lugar no espaço. Ao passo que o conceito de indivisibilidade da extensão, segundo More, permite a concepção de extensão sem matéria com a presença de espaço, algo que, no conceito cartesiano de extensão, é inconcebível.

Para Descartes, a sensação não nos permite enxergar a extensão da matéria. O sentir é um modo de pensar confuso e obscuro que esconde a clareza e distinção da ideia que se tem de extensão e assim Descartes acredita que a redução é uma operação fundamental para se extrair do sentir a clareza e distinção dessas ideias, como se vê na Regra V:

Todo o método consiste na ordem e na disposição das coisas rumo àquelas que são necessárias dirigir a atenção do espírito para descobrir alguma verdade. Ora, nós a seguiremos exatamente, se conduzimos gradualmente as proposições complicadas e obscuras às mais simples e se, em seguida, partindo da intuição das mais simples nos esforçamos a

querer alcançar esses atributos, já que o entendimento humano é limitado e não é capaz de percorrê-los completamente; por outro, pode-se entender os atributos infinitos a partir da percepção do finito, que pode ser percorrido completamente pelo entendimento (Cf. COTTINGHAM, 1995, p.89).

nos elevar, pelos mesmos degraus, ao conhecimento de todas as outras (DESCARTES, 1999, p. 52)⁶¹.

Nas *Meditações*, Descartes considera que os objetos corporais talvez não sejam aquilo “[...] tal como nós os percebemos pelos sentidos, pois essa percepção dos sentidos é muito confusa e obscura em várias coisas [...]” (*Ibid.*, 1999, p. 325)⁶², pois o que inferimos a partir dos sentidos é muito complexo e só pode ser concebido como ideia clara e distinta quando é submetido ao exame rigoroso da razão. As ideias, que têm origem no sentir, devem ser reduzidas às proposições simples e claras, através da ideia de extensão, que se mantém escondida na obscuridade dos sentidos; entretanto, a ideia é imaterial, assim como espaço, movimento, dimensão, etc. Nesse caso, a imaterialidade da extensão se torna impenetrável, o que, na concepção de espírito de More, torna a natureza da matéria irreduzível à impenetrabilidade. Portanto, More acredita na necessidade de se demonstrar a existência de coisas corpóreas e incorpóreas, móveis e imóveis:

A primeira parte [da asserção] é tão óbvia que quase dispensa prova, visto ser confirmada pelas opiniões de quase todos os filósofos e mesmo de todos os homens em geral, mas particularmente daqueles que, como convém, acreditam que a matéria tenha sido criada num certo tempo. Pois devemos reconhecer ou que existe uma certa extensão fora da matéria, ou que Deus não poderia criar matéria finita; com efeito, não podemos conceber uma matéria finita senão se estiver cercada por alguma extensão infinita (MORE, *Apud in KOYRÉ*, 1979, p.134).

Nesta conclusão, vemos que a concepção de matéria cartesiana se distingue da extensão em More, pois existe não só a parte interna do espaço ocupado pelo objeto material, mas também a parte externa do espaço além do objeto, o que garante à extensão infinita os lugares que todos os outros objetos podem ocupar. Nesse caso, ao rejeitar a identidade entre extensão e matéria, More reivindica a noção de extensão infinita como algo necessário à noção de extensão finita, pois sua rejeição, por parte de Descartes, desencadeia o materialismo, que exclui de Deus o poder de criar tanto o espaço infinito quanto o vazio. Enquanto Descartes defende a extensão como atributo da matéria, More a define como atributo da matéria e espírito para mostrar que sem extensão infinita não temos como explicar

⁶¹ “Toute la méthode consiste dans l’ordre et la disposition des choses vers lesquelles il faut tourner le regard de l’esprit, pour découvrir quelque vérité. Or nous la suivrons exactement, si nous ramenons graduellement les propositions compliquées et obscures aux plus simples, et si ensuite, partant de l’intuition des plus simples nous essayons de nous élever par les mêmes degrés à la connaissance de toutes les autres”.

⁶² “[...] telles que nous les apercevons par les sens, car cette perceptions des sens fort obscure et confuse en plusieurs choses”.

o espaço além da matéria. Se, por um lado, Descartes acredita que o espaço é cheio de matéria, por outro, More precisa da noção de espaço vazio para explicar o movimento dos corpos, o espaço além da matéria, pois, espaço cheio de matéria impede o movimento dos corpos.

No artigo 17 dos *Princípios II* de Descartes, há a defesa de que o espaço, que supomos vazio, está cheio de matéria que não é acessível aos sentidos, mas que cerca outros objetos materiais visíveis ou sensíveis:

No que se refere ao vazio, no sentido que os filósofos tomam essa palavra, a saber, um espaço onde não há substância, é evidente que não exista espaço no universo que seja tal, porque a extensão do espaço ou do lugar interior não é diferente da extensão do corpo. E considerando que um corpo é extenso em comprimento, largura e profundidade, temos razão de concluir que é uma substância, pois concebemos que não é possível que esse nada tenha extensão, devemos concluir do mesmo espaço que se supõe vazio: a saber, que há nele extensão e necessariamente substância (DESCARTES, *Principes II*, art. 16, 1999, p. 620)⁶³.

Para Descartes, existem três tipos de substâncias: a divina, cujo principal atributo é a infinita perfeição; a material, a extensão; e a inteligente, por assim dizer, que é o pensamento puro (DESCARTES, *Méditations*, 1999, pp. 323-5). Deus é a causa das substâncias pensamento e extensão bem como de seus principais atributos, e, por essa razão, não criaria o vazio, que não tem atributo e por isso não poderia ser concebido como substância. Se o espaço não é vazio é porque está preenchido por alguma matéria, mesmo que seja imperceptível aos sentidos; portanto, para o vazio existir é preciso ser, e para ser, é preciso ser concebido como substância, coisa que o vazio “não é”. Assim, o vazio é ausência de ser e não pode ser considerado como algo realmente existente.

Para More, sem a possibilidade do vazio a mobilidade dos corpos seria impossível, já que “[...] seria absolutamente impossível para Deus criar outro mundo, nem mesmo duas pequenas esferas de bronze ao mesmo tempo, no lugar desses dois mundos, uma vez que os polos dos eixos paralelos coincidiriam, devido à ausência de um espaço intermediário”

⁶³ “Pour ce qui est du vide, au sens que le philosophes prennent ce mot, à savoir, pour un espace où il n’y a point substance, il est évident qu’il n’y a point d’espace en l’univers qui soit tel, parce que l’extension de l’espace ou du lieu intérieur n’est point différente de l’extension du corps. Et comme, de cela seul qu’un corps est étendu en longueur, largeur et profondeur, nous avons raison de conclure qu’il est une substance, à cause que nous concevons qu’il n’est pas possible que ce qui n’est rien ait de l’extension, nous devons conclure de même de l’espace qu’on suppose vide: à savoir, que, puisqu’il y a en lui de l’extension, il y a nécessairement aussi de la substance”.

(MORE, *Apud in KOYRÉ*, 1979, p. 135). Neste caso, o movimento seria impossível sem a existência do vazio, pois o deslocamento de um corpo para outro lugar pressupõe o vazio do espaço sem matéria. Pelas razões acima, não dá para Descartes introduzir a noção de vazio para explicar o movimento por afirmar que movimento é “[...] a transferência de um pedaço de matéria, ou corpo, das proximidades de outros corpos que com ele estão em contato imediato, considerados em repouso, para as proximidades de outros corpos” (DESCARTES, 1999, *Principes*, II, art. 25, p. 624)⁶⁴. É como se o movimento de um corpo consumisse parte da matéria de outros corpos e com os quais o corpo em movimento pudesse interagir para assumir uma posição local atual.

Apesar de More defender a existência da extensão infinita, não significa que ele queira defender a existência do mundo infinito:

Além disso, vale mencionar que os filósofos que acreditavam ser o mundo finito (tais como Platão, Aristóteles e os Estóicos), admitiam *Espaço* fora do mundo, ou além dele, ao passo que aqueles que [acreditam em] mundos infinitos e na matéria ensinam que existe até dentro do mundo um vazio intermisturado (MORE, *Apud in KOYRÉ*, 1979, p. 136).

Em todo caso, a aceitação de um mundo infinito implica a necessidade de matéria, algo que comumente é rejeitado pelos filósofos, já que a necessidade não pode ser atribuída à matéria, mas a alguma substância incorpórea. Por isso mesmo, More prefere atribuir à substância extensa atributos de infinitude e finitude quando ele designa a existência de extensões material e imaterial, contrariando o que pensa Descartes sobre a ideia de extensão:

Mas, vós me dizeis, *Deus ou um anjo, ou tudo o que subsiste por si, é extenso, por consequência, a definição é mais ampla do que o definido*. Para mim, não tenho o hábito de disputar palavras; se, porque Deus está em toda a parte, se diz que é extenso de uma certa maneira, eu aceito. Entretanto, nego que a verdadeira extensão, tal como é concebida para tudo ordinariamente, se encontra em Deus, ou em um anjo, ou em nossa alma, ou, enfim, em toda a substância que não é corpo (DESCARTES, *Correspondence*, 1999, p. 1313; grifo do autor)⁶⁵.

⁶⁴ “[...] le transport d’une partie de la matière, ou d’un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos dans le voisinage de quelques autres”.

⁶⁵ “Mais, me dites-vous, *Dieu, ou un ange, ou tout ce qui subsiste par soi, est étendu, par conséquent la définition est plus large que le défini*. Pour moi, je n’ai pas l’habitude de disputer sur les mots; si, parce que Dieu est partout, on dit qu’il est étendu d’une certaine manière, je veux bien. Je nie cependant que la véritable étendue, telle qu’elle est ordinairement conçue par tous, se trouve en Dieu, ou en un ange, ou en notre âme, ou enfin en toute substance qui n’est pas corps.”

Descartes então atribui a extensão aos objetos corpóreos e a qualquer outra coisa que seja matéria. Sendo assim, ele jamais poderá concebê-la como substância imaterial, já que a extensão é o principal atributo da matéria. Nem a infinitude de Deus poderia implicar sua extensão, pois as dimensões em comprimento, largura e profundidade são da natureza dos corpos, coisas que não se atribuem aos seres incorpóreos. Assim, Descartes estabelece, *Princípio I*, art. 27, a distinção entre indefinido e infinito:

E chamaremos essas coisas indefinidas em vez de infinitas, a fim de reservar só a Deus o nome de infinito; tanto que não notamos limites em suas perfeições, assim como estamos muito seguros de que isso não pode haver. Porque sabemos que as outras coisas não são absolutamente perfeitas, pois ainda que notemos quaisquer propriedades que nos parecem não ter limites, não deixamos de saber que isso procede do defeito de nosso entendimento, e não de sua natureza (DESCARTES, 1999, p. 583)⁶⁶.

Portanto, Descartes prefere atribuir à matéria o termo indefinido, apesar de ela ter limites que circunscrevem sua parte interior. Se ela for submetida à divisão, seriam incontáveis as partes que a compõem, partes que, certamente, não são acessíveis ao conhecimento porque nosso entendimento é tão limitado quanto suas dimensões. Se Descartes considera que apenas Deus possa ser designado pelo atributo de infinito, é porque este termo implica a perfeição jamais encontrada nas coisas criadas por ele. Mas More não se satisfaz com o argumento cartesiano de que só a matéria é extensa, pois seus limites implicam a existência de algo que, além dela, se estende ao infinito, isto é, a extensão infinita. Logo, o Deus de More é de extensão infinita, enquanto seu mundo é de extensão finita.

Como a extensão cartesiana é um conceito matemático atribuído aos corpos, é relevante considerar sua participação na noção de infinito na Matemática. A partir da noção de unidade, as *Regras para a direção do espírito* a define, na perspectiva da extensão, como uma coisa que participa do infinito por suas relações: a unidade “[...] deve igualmente participar de todas as coisas que se compara entre elas. Se numa questão não existe unidade que já esteja determinada, podemos compreendê-la para ter lugar, seja uma grandeza dada, seja qualquer outra, e isto será a medida comum para todas as outras” (DESCARTES, 1999,

⁶⁶ “Et nous appellerons ces choses indéfinies plutôt qu’infinites, afin de réserver à Dieu seul le nom d’infini; tant à cause que nous ne remarquons point de bornes en ses perfections, comme aussi à cause que nous sommes très assurés au il n’y en peut avoir. Pour ce qui est des autres choses, nous savons qu’elles ne sont pas ainsi absolument parfaites, parce qu’encore que nous y remarquons quelquefois des propriétés qui nous semblent n’avoir point de limites, nous ne laissons pas de connaître que cela procède du défaut de notre entendement, et non point de leur nature”.

p. 104)⁶⁷. Por outro lado, a Regra XV define que essa mesma unidade “[...] é um assunto extenso, em todos os sentidos, e suscetível a uma infinidade de dimensões” (*Ibid.*, p. 106)⁶⁸.

A extensão, por sua vez, como ideia clara e distinta do corpo, é uma intuição que, por natureza, é simples, clara e indivisível; por isso mesmo, podemos considerá-la como unidade. E assim, na Regra VI, Descartes atribui à intuição a designação de absoluto, a entendendo como unidade indivisível e indemonstrável por sua simplicidade⁶⁹: “Denomino absoluto tudo que contém em si a natureza pura e simples que está em questão: assim, tudo que é considerado como independente, causal, simples, universal, unitário, igual, semelhante, reto, ou outras coisas do gênero; e denomino absoluto o mais simples e fácil, a fim de nos servirmos disso para resolver as questões” (*Ibid.*, p. 53)⁷⁰.

E, ao compreender que o sentido de unidade possui relações infinitas, é possível fazer uma análise de seus inconvenientes:

Descartes pressupõe, com efeito, que partindo da unidade e seguindo uma ordem de grandezas, confinar-se-á, sem dúvida, sobre a grandeza buscada, ou ao menos – pois compreende a existência dos incomensuráveis – a enquadrar, a uma unidade próxima, a grandeza em questão (TIMMERMANS, 1995, p. 92)⁷¹.

Ou seja, a unidade determinada como medida comum às outras é a razão constante pela qual devemos nos aproximar do desconhecido; essa razão constante é a menor parte finita que se liga às outras partes infinitas de um todo complexo. No entanto, o próprio Descartes não considera que a unidade constante seja uma parte finita. Se o todo é maior que a parte, daí se calcula a maior parte infinita pela menor parte finita, ou busca, pela unidade, determinar o indeterminado; “com efeito, um infinito em ato é precisamente uma grandeza

⁶⁷ “[...] doivent également participer toutes les choses que l’on compare entre elles. Si dans une question il n’existe pas d’unité qui soit déjà déterminée, nous pouvons prendre pour en tenir lieu, soit une des grandeurs déjà données, soit quelque autre, et celle-ci sera la mesure commune de toutes les autres”.

⁶⁸ “[...] est un sujet étendu en tous sens et susceptible d’une infinité de dimensions”.

⁶⁹ Toda intuição é, por natureza, auto evidente porque pode ser alcançada num só golpe de vista, dispensando, assim, a demonstração Matemática. Cf. DESCARTES, *Principes IV*, art. 206, AT, IX-2, 1978.

⁷⁰ “J’appelle absolu tout ce qui contient en soi la nature pure et simple dont il est question : ainsi tout ce qui est considéré comme indépendant, cause, simple, universel, un, égal, semblable, droit, ou d’autres choses de ce genre ; et je l’appelle le plus simple et le plus facile, afin que nous nous en servions pour résoudre les questions”.

⁷¹ “Descartes présuppose en effet qu’en partant de l’unité et en suivant l’ordre des grandeurs, on aboutira à coup sûr à la grandeur recherchée, ou tout au moins – car il envisage bien entendu l’existence des incomensurables – à encadrer, à une près, la grandeur en question.”

que não se deixa enquadrar, determinar, qualquer que seja a grandeza ou a pequenez da unidade pela qual se busca medi-lo” (*Ibid.*, p. 93)⁷².

Para Descartes, tanto a divisão quanto a multiplicação precisam da unidade como fundamento das relações que, para a análise de uma questão, a determinação de uma grandeza seja fundamental. Veja que, na Regra XVIII:

[...] ela ocupa o primeiro grau na série de grandezas em proporção contínua; as grandezas dadas se encontram em segundo grau, e as grandezas buscadas em terceiro, quarto e outros graus, se a proporção for direta; se é indireta, a grandeza buscada se encontra no segundo grau e aos outros graus intermediários, e a grandeza dada em último (DESCARTES, 1999, p. 113)⁷³.

Para Timmermans (1995, p. 187), se a grandeza dada for conhecida, a análise infinitesimal não pode ser fornecida, pois as grandezas desconhecidas são as variáveis determinantes do cálculo diferencial de Leibniz. Portanto, esse tipo de cálculo parte da diferença ou de uma grandeza desconhecida como veículo singular das relações infinitas, substituindo a noção de unidade, que determina o todo indeterminado, pela noção de diferença.

Por essa razão, a análise infinitesimal fica impedida de se estabelecer, pois, do ponto de vista leibniziano, a unidade não é a razão do conhecimento, em sua relação com a infinidade de valores intermediários; a razão do conhecimento da análise infinitesimal é a própria diferença ou a razão pela qual uma série infinita se relaciona com seus termos (*Ibid.*, p. 94). A determinação da unidade faz com que a grandeza buscada mantenha relação com grandezas contínuas e dadas, por seus graus intermediários, constituindo assim uma cadeia de relações com as quais se encontra apenas a razão entre os pontos intermediários.

Entretanto, a noção de unidade fornecida por Descartes resolve o problema do paradoxo de Aquiles⁷⁴. Para ilustrar a questão, o conceito de reta, por exemplo, nos leva à

⁷² O infinito em ato é indeterminável, embora a razão constante da unidade possa estabelecer uma relação de unidade numa série infinita de pequenas partes. “En effet, un infini en acte est précisément une grandeur qui ne se laisse jamais encadrer, déterminer, quelle que soit la grandeur ou la petitesse de l’unité par laquelle on se cherche à le mesurer”.

⁷³ “[...] qu’elle occupe le premier degré dans la série des grandeurs en proportion continue; que les grandeurs données se trouvent au second degré, et les grandeurs cherchées au troisième, au quatrième et aux autres, si la proportion est direct; si elle est indirect, la grandeur cherchée se trouve au second degré et aux autres degrés intermédiaires, et la grandeur donnée au dernier”.

⁷⁴ Esse paradoxo foi o argumento utilizado por Zenão (490 a.C. aproximadamente) para mostrar a incompatibilidade da noção de unidade de Pitágoras; tal noção, que pressupõe uma grandeza dada, nos leva ao

conclusão de que, se a reta é a distância mais curta entre dois pontos, essa mesma distância está ligada por uma infinidade de pontos. Como Descartes emprega a noção de unidade enquanto grandeza contínua, o paradoxo de Aquiles é resolvido, pois, numa série de grandezas infinitas, a unidade compõe o todo dessas grandezas quando se atribui à unidade dividendos em proporção contínua.

O problema do infinito implica em consequências matemáticas, metafísicas e cosmológicas, de modo respectivo em que há de seguir:

a) a quantidade contínua de uma grandeza dada, conforme o que foi explicado, é suficiente para resolver a questão da divisibilidade da extensão, pois esta, em suas dimensões, possui relação infinita com a unidade estabelecida, sem, todavia, incluir a análise infinitesimal fornecida pelo cálculo diferencial;

b) conseqüentemente, na Metafísica, o problema permanece quando se considera a infinita perfeição de Deus, enquanto ideia simples e indivisível. Por que não lhe atribuir a noção de extensão infinita? Pode-se dizer, por exemplo, que Deus é o divisor, pois, sendo sua perfeição uma ideia simples, sua unidade é uma quantidade infinita, sem início nem fim, e, como diz Beyssade, “lá, onde não há mais divisão, ainda há lugar para a ordem. Lá, onde não há mais divisão, não há mais dimensão e, portanto, não há mais a medida” (2001, p. 316)⁷⁵. Mas há o que se pode chamar de divisor, isto é, Deus, que mantém relação, em dimensões infinitas, com as coisas por ele criadas ou por divisões em proporção contínua;

c) sob o ponto de vista cosmológico, a indeterminação do mundo cartesiano parece perder o sentido quando se aplica seu conceito de extensão, conforme Regra XIV:

A extensão não é corpo, e a palavra extensão é tomada num outro sentido que precede [o de corpo]; nesse último sentido, alguma ideia particular não lhe corresponde na imaginação, e o enunciado não é feito

reductio ad absurdum quando a divisibilidade infinita pressupõe partes tão pequenas que sequer podemos determinar o maior ou menor, fazendo, por conseguinte, que a unidade perca sua grandeza. Nesse caso, Zenão mostra que, se Aquiles apostar uma corrida com uma tartaruga, sendo dada a tartaruga uma vantagem de distância para Aquiles alcançá-la, a tartaruga jamais será alcançada, pois Aquiles deverá percorrer uma distância infinita; dada uma distância infinita, não há como determinar o perto ou o longe ou sequer percorrer toda a distância, a não ser que essa teoria da divisibilidade infinita seja substituída por uma teoria da quantidade contínua (Cf. RUSSELL, 2002, pp. 54-8).

⁷⁵ “Là où il n’y a plus de division, il y a encore place pour l’ordre. Là où il n’y a plus de division, il n’y a plus de dimension et partant plus la mesure”.

pelo entendimento puro, que só tem o poder de separar seres em espécie (DESCARTES, 1999, p. 100; Grifo do autor)⁷⁶.

Ou seja, só se pode separar corpo de extensão em nível de pensamento, pois, segundo Descartes, não se diz que o entendimento puro pode conceber clara e distintamente o corpo separado da extensão, tendo em vista que àquele é reduzido a este, no processo de análise, e disso se conclui que a ideia clara e distinta de corpo é extensão. Se corpo e extensão estão unidos na mesma substância, e só são separáveis em nível de pensamento, por que não atribuir ao mundo a qualidade de extensão infinita? Como a extensão é uma unidade cuja simplicidade impede sua divisibilidade, em dimensão e medida, é razoável conceder ao mundo a infinitude como seu principal atributo, para que haja a compreensão de suas partes infinitas. Pode-se então designar ao mundo infinito a unidade divisora, e às suas partes, o dividendo em proporção contínua, sem a necessidade de lhe atribuir a qualidade de indeterminação.

Nem com isso, a compreensão da diferença entre corpo e extensão torna menos problemática a identidade entre espaço e matéria, em Descartes. Mesmo que a divisibilidade dos corpos seja de proporção contínua, ainda assim, o problema da extensão é o que promove um debate sobre a elaboração das leis do movimento, na explicação da estrutura do choque dos corpos. Portanto, ver-se-á que o movimento, como um dos modos da extensão, conduzirá toda a física mecânica, conforme o capítulo a seguir, no interior do pensamento científico-filosófico de Descartes.

⁷⁶ “*L’étendue n’est pas le corps, le mot étendue est pris alors dans un tout autre sens que précédemment; en ce dernier sens aucune idée particulière ne lui correspond dans l’imagination, et l’énonciation en est fait par l’entendement pur, qui seul a le pouvoir de séparer des êtres abstraits de cette espèce.*”

PARTE II: PENSAMENTO CIENTÍFICO EM DESCARTES E NEWTON

CAPÍTULO 3 - Descartes: Filosofia, Física e Metafísica

3.1) O significado da Filosofia cartesiana

Falar sobre o significado do termo “Filosofia” pode parecer algo extremamente trivial, se for o caso de apenas dizer seu significado no sentido geral⁷⁷. Quando esse assunto está restrito ao sentido cartesiano específico, deparar-se com um núcleo rígido de operações mentais que sustentam um sistema de pensamento, considera-se importante pensar nos vários objetos da ciência a que esse mesmo sistema se estende. Não é fácil definir o que é “Filosofia” em Descartes, pois, pensar em seu sistema científico, que estabelece suas regras, significa compreender como é possível educar o pensamento com disciplina Matemática, que é o que conduz os passos que orientam esse sistema. Mas também não há de ser fácil separá-la do conjunto de sua obra, já que seu conjunto de regras é o que dirige o pensamento cartesiano, marcando presença em seu longo trabalho de meditação e investigação científica.

No Prefácio dos *Princípios da Filosofia*, Descartes define “Filosofia” no sentido mais profundo do termo, ou seja, enquanto perfeito conhecimento de todas as coisas:

Esta palavra *Filosofia* significa o estudo da sabedoria, e por sabedoria não se entende somente a prudência nos negócios, mas um perfeito conhecimento de todas as coisas que o homem pode saber tanto para a condução de sua vida quanto para a conservação de sua saúde e a invenção de todas as artes; e para que esse conhecimento seja tal, é necessário que seja deduzido das primeiras causas de modo que, para estudar ao adquirir, o que se denomina propriamente filosofar, é necessário começar pela busca das primeiras causas, isto é, dos princípios (DESCARTES, *Principes*, 1999, p. 558; Grifo do autor)⁷⁸.

⁷⁷ Descartes utiliza o termo “Filosofia” muitas vezes para designar “ciência natural”, sentido muito comum utilizado no século XVII; entretanto, o termo possui um significado mais profundo quando se pretende significar o perfeito conhecimento das coisas (Cf. COTTINGHAM, 1995, p. 67).

⁷⁸ “Que ce mot de *philosophie* signifie l’étude de la sagesse, et que par la sagesse on n’entend pas seulement la prudence dans les affaires, mais une parfaite connaissance de toutes les choses que l’homme peut savoir, tant pour la conduit de sa vie que pour la conservation de sa santé et l’invention de tous les arts; et qu’afin que cette connaissance soit telle, il est nécessaire qu’elle soit déduite des premières causes, en sorte que pour étudier à

Pode-se então perceber que Descartes primeiramente trata a Filosofia no seu significado mais amplo ou trivial quando afirma que é o “estudo da sabedoria”; no entanto, quando se deseja ir além disso, deve-se trazer à Filosofia seu sentido mais elaborado para mostrar como se conduz o “conhecimento perfeito de todas as coisas”. Entenda-se por isto um conhecimento dedutivo que dirige a mente aos seus primeiros princípios. Como o sistema cartesiano é dedutivo, os primeiros princípios devem ser conquistados pelo raciocínio matemático, pois a ciência cartesiana só começa a partir do momento em que as operações da mente pura e atenta buscam o caminho que dirige o conhecimento seguro, afastando de si o que há de confuso e obscuro.

Os *Princípios da Filosofia* foram dedicados à princesa Elizabeth⁷⁹; mas o objetivo de Descartes, além de agradar a princesa, é reunir o conjunto de sua obra em princípios que possam estruturar o conhecimento, em várias áreas da ciência, expondo, de forma dedutiva, seu sistema filosófico.

Um conhecimento perfeito de todas as coisas implica a aplicação de regras da disciplina Matemática, cujo objeto é a ordem e a medida, já que, segundo Descartes, todo o conhecimento que não pode ser provado matematicamente é dubitável. Isto significa que, ao buscar um conhecimento perfeito de todas as coisas, é necessário introduzir a ordem e a medida para a garantia Matemática do conhecimento. Apesar de Descartes publicar seus *Princípios* em 1644, é nas *Regras para a direção do espírito*, obra provavelmente formulada em 1628 e publicada em 1701 (cinquenta anos após a sua morte), que temos um texto com o qual podemos ver a inteligência ser orientada pelos principais atos do entendimento, a saber, a intuição e dedução, operações cognitivas determinantes na busca do conhecimento. A Regra III determina essas operações a fim de corrigir o pensamento duvidoso:

Por *intuição* entendo, não o testemunho dos sentidos, ou o juízo enganador de uma imaginação que mal compõe seu objeto, mas a

l'acquérir, ce qui se nomme proprement philosopher, il faut commencer par la recherche de ces premières causes, c'est-à-dire des principes”.

⁷⁹ A princesa Elizabeth, filha mais velha de Frederico V, rei da Boêmia deposto em 1620, foi discípula de Descartes no período em que ela e sua família havia se refugiado na Holanda. Aluna devotada, com extrema habilidade em Metafísica e Matemática, fez Descartes nutrir uma terna amizade por ela, embora existam suspeitas de que a relação entre os dois tenha sido mais que isso. Ao mudar-se para o norte da Holanda, Descartes distanciou-se da princesa, talvez em razão de temer as perseguições oriundas dos conflitos acadêmicos ou da própria natureza da relação entre eles, que parece ser um segredo não revelado. Surge então a ocasião da troca de correspondências entre os dois cujo conteúdo é de expresso interesse filosófico, motivo pelo qual não temos como decifrar a natureza da relação entre ambos. Descartes, sempre que podia, visitava a princesa, mas afastou-se definitivamente no momento em que Elizabeth deixa a Holanda e passa a residir definitivamente na Alemanha (Cf. ACZEL, 2007, pp. 137-42).

concepção de um espírito puro e atento, tão fácil e tão distinto, que não resta qualquer dúvida sobre o que nós compreendemos; [...] Por conseguinte, pode-se perguntar por que, além da intuição, incluímos aqui um outro modo de conhecimento que se faz por *dedução*, ou seja, operação pela qual compreendemos tudo aquilo que se conclui necessariamente de outras coisas com certeza (DESCARTES, 1999, pp. 43-4; grifo do autor)⁸⁰.

Intuir é o ato de ver com a mente e este exercício mental só pode ser elaborado quando afastamos dele a obscuridade da sensação e da imaginação⁸¹. Tanto o sentir quanto o imaginar são atos mentais que dependem de coisas que estão fora da mente e como a intuição é uma operação da mente pura e atenta, devemos entendê-la como um ato independente das relações que a própria mente estabelece com os objetos exteriores a ela. Portanto, esse exercício mental possui a tarefa de eliminar a dúvida, já que o conhecimento indubitável só pode ser concebido quando abstraímos, da sensação e da imaginação, tudo aquilo que pode ser visto pela mente com clareza e distinção. Já a dedução é um ato mental que depende da intuição, pois ela é uma operação cognitiva que parte do conhecimento indubitável para chegar à conclusão necessária. Desse modo, o conhecimento dedutivo depende de princípios, isto é, do conhecimento perfeito de todas as coisas, que só pode ser conquistado por atos cognitivos, exercício pelo qual é impossível filosofar ou buscar as causas ou os primeiros princípios.

Ainda no Prefácio dos *Princípios*, Descartes busca ilustrar o significado de Filosofia com a metáfora da árvore:

Assim, toda a Filosofia é como uma árvore, da qual as raízes são a Metafísica, o tronco a Física, e os ramos que saem desse tronco são todas as outras ciências que se reduzem as três principais, a saber, a medicina, a mecânica e a moral; entendo que a mais alta e perfeita é a moral, que pressupõe um inteiro conhecimento das outras ciências, o último grau da sabedoria (DESCARTES, 1999, p. 566)⁸².

⁸⁰ “Par intuition j’entends non pas le témoignage changeant des sens ou le jugement trompeur d’une imagination qui compose mal son objet, mais la conception d’un esprit pur et attentif, conception si facile et si distincte qu’aucun doute ne reste sur ce que nous comprenons; [...] Par suite on a déjà pu se demander pourquoi, outre l’intuition nous avons ajouté ici outre mode de connaissance qui si fait par déduction, opération par laquelle nous entendons toute ce qui se conclut nécessairement d’autres choses connues avec certitude.”

⁸¹ A definição e distinção de sensação e imaginação serão discutidas na seção seguinte, quando será feita uma abordagem mais específica da Metafísica cartesiana. Tanto o sentir quanto o imaginar são importantes no processo de elaboração do conhecimento, no entanto, são considerados modos de pensar obscuros, na medida em que se expressam através da relação estabelecida com objetos exteriores à mente.

⁸² “Ainsi toute la philosophie est comme un arbre, dont les racines sont la métaphysique, le tronc est la physique, et les branches qui sortent de ce tronc sont toutes les autres sciences, qui si réduisent à trois principales, à savoir la médecine, la mécanique et la morale; j’entends la plus haute et la plus parfaite morale, qui présupposant une entière connaissance des autres sciences, est le dernier degré de la sagesse”.

Sabe-se que os *Princípios* fornecem uma abordagem do conjunto da obra cartesiana. Neles, Descartes orienta seu espírito seguindo raciocínios evidentes, o que permite a compreensão de coisas que só podem ser deduzidas deles. Quando faz a analogia entre árvore e Filosofia, busca nos mostrar que a Filosofia abarca todo o conhecimento, e por isso temos a ideia de um sistema unificado onde a Metafísica é a base que sustenta os vários objetos das ciências: a Física, que é ilustrada pelo tronco da árvore, só pode ser erigida nessa base por que a Metafísica executa a função de explicar por que é que a experiência sensível, objeto da Física, deve ser reduzida a princípios evidentes em razão de sua obscuridade; já a medicina, a mecânica e a moral são ilustradas como os ramos desse tronco, pois a experiência sensível, objeto da Física, dá origem às afecções da alma, ou seja, aos conflitos existentes entre mente e corpo, que, por sua vez, não só alteram as funções do corpo humano, que podem ser explicadas pela medicina, mas também se tornam decisivos para a dinâmica psicológica das emoções, que pode ser explicada pela moral e cuja tarefa é orientar a vida prática em busca da felicidade; no caso da mecânica, que também é ilustrada como um dos ramos da Física, pode-se compreendê-la como uma ciência do movimento, isto é, de um conhecimento que explica a ação dos objetos que causam em nós sensações⁸³. Quiçá possamos dizer que os *Princípios*, enquanto projeto de unificação das ciências, seja um trabalho em que Descartes demonstra não só o conjunto de sua obra, mas também a resposta que ele concebe para a solução de problemas que envolvem vários objetos da ciência.

A caracterização de um sistema filosófico unificado mostra que Descartes busca, num único método, procedimentos com os quais todas as ciências devem se servir para resolver seus problemas. Por isso, o método cartesiano é desenvolvido para produzir um conhecimento perfeito de todas as coisas, e é na Matemática que Descartes pensa orientar a mente, na busca de resolução de problemas. Para que se possa entender o método cartesiano, é preciso seguir o caminho por ele percorrido, conforme os quatro preceitos enunciados na segunda parte do *Discurso do método*⁸⁴:

⁸³ A analogia da árvore é aqui utilizada para explicar o sentido da unificação filosófica do sistema cartesiano. As ciências que brotam dessa árvore não serão aqui discutidas detalhadamente em virtude de se privilegiar o significado de Filosofia, tema proposto para esta seção. No entanto, por ser objeto desta investigação, a Física somente será discutida na terceira seção deste capítulo.

⁸⁴ O *Discours de la méthode*, publicado em 1637, é um dos textos mais conhecidos de Descartes. Em geral, esse texto é apresentado separadamente dos ensaios científicos que o sucedem, *La dioptrique*, *Les météores* e *La géométrie*, o que faz perder um pouco de seu significado. Vale notar que é nos ensaios que Descartes executa o projeto de um sistema filosófico unificado quando examina vários objetos dos quais se apropriam ciências distintas. Nele, Descartes conta como pensou o método, pois a ciência, impregnada pelo saber aristotélico, não havia se constituído em bases tão seguras quanto as da Matemática. Por essa razão, toda ciência que não pode ser

a) clareza e distinção – é o ato mental que afasta de si tudo o que é confuso e obscuro com o objetivo de construir um conhecimento seguro. Disto segue que a mente pura e atenta submete à dúvida tudo aquilo que não é conhecido com certeza. Muitas vezes se denomina esse ato como o de *evidência*, que significa o ato de ver pela luz natural da mente. Segundo Descartes, somos acostumados, desde a infância, a tomar o falso pelo verdadeiro quando emitimos juízos baseados nos sentidos. Tais juízos são para ele preconcebidos, pois se forem submetidos ao exame da mente pura e atenta ver-se-á que não são iluminados pela luz natural, mas obscurecidos pelos sentidos. Por isto, submeter à dúvida tudo aquilo que não é conhecido com certeza evita a formulação de juízos falsos, oriundos da *prevenção*, que elabora juízos apressados e preconcebidos, e a *precipitação*, que formula juízos que insistem em permanecer na opinião preconcebida como verdadeira (Cf. DESCARTES, *Principes I*, art. 1, AT IX-2, 1978, p. 25)⁸⁵.

b) análise – consiste na divisão das partes do problema para que cada parte seja examinada pela mente. Nesse exame, a luz natural ilumina a verdade que ficou escondida ou misturada na confusão dos sentidos. Mais do que isto, a análise permite a descoberta do desconhecido ao libertar a mente das ilusões dos juízos que partem da prevenção e precipitação.

c) ordem – consiste na disposição das coisas que são colocadas em toda cadeia dedutiva. O que vem antes não precisa do que vem depois para ser demonstrado, mas o que vem depois precisa necessariamente do que veio antes para ser demonstrado (Cf. DESCARTES, *Secondes réponses*, 1999, p. 387)⁸⁶. Numa cadeia dedutiva, o que vem antes é a intuição e, a partir dela, outras verdades são deduzidas e reduzidas a uma intuição. Assim, a dedução precisa da intuição, que veio antes, para demonstrar sua conclusão necessária, ao passo que a intuição dispensa qualquer demonstração, já que sua evidência é suficiente para se auto demonstrar. Para Descartes, que confia na certeza da intuição, toda dedução deve se reduzir a intuição quando a conclusão necessária é evidente, o que garante o conhecimento perfeito de todas as coisas que podem ser deduzidas posteriormente.

provada matematicamente é colocada em dúvida, e para a conquista do conhecimento seguro é necessário que a ciência seja tão exata quanto a Matemática.

⁸⁵ Esse preceito também é apresentado como um princípio nos *Principes*.

⁸⁶ Nas *Segundas respostas* às objeções, Descartes retoma a definição de ordem para mostrar a distinção entre espírito e corpo realizada nas *Meditações*, questão que será tratada na seção seguinte.

d) enumeração – é o tipo de operação que permite a ligação de um elo a outro numa longa cadeia de razões ou proposições onde a intuição não pode se reduzir à intuição. Ela garante a certeza da conclusão quando fixa, numa única corrente, os vários elos dedutivos numa mesma cadeia. Conforme a Regra VII, a enumeração deve bastar para corrigir a capacidade do entendimento:

Cada vez que um conhecimento não pode ser reduzido à intuição, só nos resta, após ter rejeitado todas as cadeias de silogismos, o caminho da enumeração, no qual devemos colocar toda nossa confiança. Com efeito, todas as proposições que deduzimos imediatamente umas das outras são todas reduzidas a uma intuição verdadeira, se a inferência foi evidente. Se, ao contrário, partindo de um grande número de proposições separadas inferimos alguma coisa, muitas vezes a capacidade de nosso entendimento não é muito grande para poder abarcá-las todas numa única intuição: nesse caso, a certeza da enumeração deve bastar (DESCARTES, 1999, p. 59)⁸⁷.

Como vemos, para uma conclusão ser evidente, a redução da dedução à intuição também pode ser feita por enumeração. Trata-se de uma evidência imediata que se tem quando se conhece com certeza a conclusão. Entretanto, uma cadeia dedutiva muito longa não permite que a evidência da conclusão seja vista claramente, a um só golpe de vista, e, por isto, a dedução não pode se reduzir à intuição imediatamente. Nesse caso, a enumeração se apresenta como operação mental eficaz para uma longa cadeia dedutiva composta por muito elos. Há a necessidade de fixá-los por enumeração, o que garante que nenhuma proposição foi esquecida ou omitida na certeza da conclusão.

Enunciados os quatro preceitos do método, tem-se uma exposição geral do que se considera substancial para a compreensão do método cartesiano, e como já foi dito, a Matemática é fundamental para sua formulação. No entanto, não se sabe ainda qual é o fundamento da clareza e distinção, nem mesmo o que garante a veracidade dessas ideias.

Em primeiro lugar, toda ideia clara e distinta é verdadeira, na medida em que é obtida pela “evidência”, que afasta da mente o que há de confuso e obscuro sob o pretexto da dúvida. O ato de duvidar é um ato do pensamento que permite a constatação do primeiro princípio da

⁸⁷ “Chaque fois qu’une connaissance ne peut être ramenée à l’intuition, il ne nous reste, après avoir rejeté toutes les chaînes des syllogismes, que cette seule voie de l’énumération, en laquelle nous devons mettre toute notre confiance. En effet toutes les propositions que nous avons déduites immédiatement les unes des autres, sont toutes ramenées à une véritable intuition, si l’inférence a été évidente. Si, au contraire, c’est en partant d’un grand nombre de propositions détachées que nous inférons quelque chose, souvent la capacité de notre entendement n’est pas assez grande, pour pouvoir tout embrasser d’une seule intuition: en ce cas la certitude de l’énumération doit lui suffire”.

Filosofia cartesiana, isto é, o *cogito ergo sum*, que é a base ou fundamento das ideias claras e distintas, já que estas são concebidas pelo ato puro de pensar. E se o *cogito* é uma ideia clara e distinta, disto se conclui a regra geral da Filosofia cartesiana de que toda ideia clara e distinta é necessariamente verdadeira (DESCARTES, 1999, p. 147-148). Entretanto, mesmo estabelecendo a clara distinção entre mente e corpo, a extensão, por sua vez, não é rigorosamente definida no *Discurso*, embora apareça como algo distinto da mente, na medida em que for constatada como uma coisa que existe quando os sentidos testemunham a natureza material dos objetos corpóreos, objetos tais que só existem fora da mente⁸⁸.

Em segundo lugar, a natureza da mente, que consiste em apenas pensar, não garante a veracidade das ideias claras e distintas. Consequentemente, uma reflexão sobre a ideia de perfeição é fundamental para que se possa entender a prova *a priori* da existência de Deus, o que garantirá a verdade de tudo aquilo que é concebido pelo ato puro de pensar, conforme *Discurso*:

Em seguida, refletindo sobre aquilo que eu duvidava, e que, por conseguinte, meu ser não era totalmente perfeito, pois via claramente que era mais perfeito conhecer do que duvidar, decidi buscar de onde aprendera a pensar em qualquer coisa mais perfeita do que eu era; e conheci evidentemente de que deveria ser de alguma coisa que fosse, com efeito, mais perfeita (DESCARTES, 1999, p. 148)⁸⁹.

Ao refletir sobre o ato de duvidar, Descartes conclui que a dúvida é um ato de seres imperfeitos, de seres, cuja falta de conhecimento, estão compelidos a duvidar para conhecer. E disto segue a ideia de perfeição por comparação, pois não se tem como pensar a imperfeição sem a ideia de perfeição, nem pensar a ignorância sem a ideia de conhecimento, pois quem duvida ignora e o ato de conhecer é mais perfeito do que o ato de duvidar ou ignorar. Pode-se, então, afirmar que a ideia de perfeição é uma ideia clara e distinta, em razão da seguinte consideração: “e conheci evidentemente de que deveria ser alguma coisa que fosse, com efeito, mais perfeita”. Se tudo que é evidente é verdadeiro, chega-se à regra geral de todo conhecimento.

⁸⁸ Uma exposição mais completa que trata da natureza dos objetos corpóreos encontra-se na Sexta Meditação das *Meditações*, onde Descartes estabelece a distinção real entre mente e corpo, e na Primeira Parte do *Princípios*, onde se define os tipos de substâncias que dependem apenas da substância divina que as cria. As substâncias criadas são: pensamento, cujo principal atributo é o pensar, e matéria, cujo principal atributo é a extensão, objeto de demonstrações geométricas.

⁸⁹ “En suite de quoi, faisant réflexion sur ce que je doutais, et que, par conséquent, mon être n’était pas tout parfait, car je voyais clairement que c’était une plus grande perfection de connaître que de douter, je m’avisai de chercher d’où j’aurais appris à penser à quelque chose de plus parfait que je n’était; e je connus évidemment que ce devait être de quelque nature qui fût en effet plus parfaite”.

Apesar da evidência da ideia de perfeição, não há como afirmar a existência de um ser perfeito, a não ser pelo exame das coisas que são concebidas clara e distintamente, mas que não existem fora da mente, como é o caso do triângulo assim descrito no *Discurso*⁹⁰:

Ao passo que, voltando a examinar a ideia que tinha de um Ser perfeito, verificava que a existência estava aí inclusa, da mesma forma como na de um triângulo está incluso serem seus três ângulos iguais a dois retos, ou de uma esfera serem todas as suas partes igualmente distantes de seu centro, ou mesmo ainda mais evidentemente; e que, por conseguinte, é pelo menos tão certo que Deus, que é esse Ser perfeito, é ou existe, o que qualquer demonstração geométrica sê-lo-ia (DESCARTES, 1999, p. 150)⁹¹.

Trata-se de uma prova *a priori*, ainda que a prova da existência de Deus possa ser dada *a posteriori*⁹². A prova em questão é antes a conquista do princípio verdadeiro através da ideia de perfeição, que implica a essência da existência necessária de Deus, que é ser perfeito. Para Descartes, a conquista desse princípio é ainda mais evidente do que as demonstrações geométricas, na medida em que trata essa descoberta como um princípio metafísico que, por si só, tem a auto evidência que os princípios da Geometria não têm. Isto se deve à relação causal que o princípio metafísico tem na Geometria, cujas ideias são antes efeitos da ação de Deus. Segundo Gilson, “a demonstração da existência de Deus é mais certa [...] do que qualquer demonstração da Geometria” e “o sinal disso é que a Metafísica se liberta da dúvida por seus próprios meios, o que a Matemática não saberia fazer” (*Apud in* DESCARTES,

⁹⁰ No mundo não existe triângulo, mas certamente existem coisas de formas triangulares. Entretanto, conceber o triângulo como uma figura plana de três lados cujos ângulos somados são iguais a dois retos é o mesmo que definir sua essência, que é inseparável da existência, segundo Descartes. Só se pode separar a existência do triângulo de sua essência apenas em nível de pensamento, quando se diz, por exemplo, que no mundo não existe triângulo. Ontologicamente isto é impossível, pois o exame dessa figura geométrica é fundamental para a prova da existência de Deus, a partir da impossibilidade ontológica dessa separação.

⁹¹ “Au lieu que, revenant à examiner l’idée que j’avais d’un Être parfait, je trouvais que l’existence y était comprise en même façon qu’il est compris en celle d’un triangle que ses trois angles sont égaux à deux droits, ou en celle d’une sphère que toutes ses parties sont également distantes de son centre, ou même encore plus évidemment; et que, par conséquent il est pour le moins aussi certain que Dieu, qui est cet Être parfait, est ou existe, qu’aucune démonstration de géométrie le saurait être”.

⁹² A prova *a priori* da existência de Deus é a descoberta mais imediata do princípio metafísico como algo auto evidente, garantia da clareza e distinção das ideias da mente. Segundo o preceito da ordem, tal princípio não precisa das coisas que são deduzidas depois para ser demonstrado, já que esse tipo de prova parte da descoberta das causas para a dedução dos efeitos. Já a prova *a posteriori* parte dos efeitos às causas e cada dedução precisa do que vem depois para ser demonstrada. No entanto, tais conceitos são extremamente complexos em Descartes, uma vez que a tradução das expressões latinas nos conduz a uma interpretação tradicional, de ordem lógica como a de Aristóteles. Mas também nos conduz a outra interpretação, quando se trata de problemas mais complexos, sobretudo os de natureza Física, assumindo um significado de ordem cronológica, o que será mais bem discutido na seção 5.1 do Capítulo 5.

1987, p. 354)⁹³. Nesse caso, pode-se concluir que as certezas matemáticas só se garantem quando a certeza Metafísica liberta a mente de qualquer dúvida. Mais do que isto, a certeza da existência de Deus, como um tipo de verdade demonstrada nas *Quintas respostas*, é o princípio causal de toda ideia clara e distinta da mente. Portanto, as certezas metafísicas não são objetos de demonstração geométrica, pois “[...] a demonstração que prova a existência de Deus é muito mais simples e mais evidente que a outra” (DESCARTES, 1999, p. 504)⁹⁴.

Ainda no *Discurso*, Descartes faz um exame da Matemática tradicional e, segundo ele, a “análise” dos antigos se detém ao uso de figuras que fatigam a imaginação, e a Álgebra dos modernos, com suas cifras complicadas, fatigam nosso entendimento (Cf. DESCARTES, *Ibid.*, p. 137). A “análise” antiga se refere a uma parte da Geometria clássica, desenvolvida pelos gregos, que utiliza a suposição para a descoberta de uma ordem particular na resolução de problema. Enquanto o desconhecido não é descoberto, a Geometria analítica, sobretudo a de Pappus, considera os dados admitidos quando executa construções auxiliares para resolver um problema (Cf. HINTIKKA, REMES, 1983, pp.42-4). Tais construções dependem do uso da imaginação que, segundo Gilson, comporta dois inconvenientes: a) de se tornar um estorvo para o pensamento, quando a imaginação não está subordinada à razão; b) de fazer com que o pensamento se contente com falsas demonstrações sem que a razão compreenda (*Apud in* DESCARTES, 1987, pp. 192-3). E o maior inconveniente da Álgebra é considerá-la como “[...] uma arte confusa e obscura que embaraça o espírito, em vez de uma ciência que o cultiva” (DESCARTES, 1999, p. 137)⁹⁵. Enquanto arte, a álgebra depende da técnica do sujeito que a pratica, isto é, do sujeito que a desenvolve por um modo singular de praticá-la, o que oferece desvantagem; já enquanto ciência, depende do objeto e não do modo como o sujeito a pratica (Cf. TIMMERMANS, 1995, p. 83-4). Nesse caso, a Álgebra oferece vantagens, pois, além de cultivar o espírito, parece atender a pretensão cartesiana de elaborar um sistema filosófico unificado, já que depende menos do sujeito que a pratica do que do objeto.

⁹³ “La démonstration de l’existence de Dieu est donc plus certaine [...] que ne l’est aucune démonstration de Géométrie. – Le signe en est que la métaphysique se libère du doute par ses propres moyens, ce que la mathématique ne saurait faire”.

⁹⁴ “[...] la démonstration qui prouve l’existence en Dieu est beaucoup plus simple et plus évidente que l’autre”. A Geometria exige o constrangimento da demonstração sintética, que passa antes pelo processo de descoberta analítica, já que seus objetos convêm aos sentidos, na medida em que a experiência sensível é reduzida a figuras geométricas. Em Metafísica, esse tipo de demonstração não convém, pois seus objetos pertencem a uma classe de verdades que só pode ser descoberta pela mente, sem o auxílio dos sentidos. Segundo a Regra XIV, que será tratada mais adiante, tanto a sensação quanto a imaginação auxiliam o entendimento na busca da verdade. Mas esse auxílio só é possível quando lidamos com objetos da Geometria, que não são objetos da Metafísica evidentemente.

⁹⁵ “[...] un art confus et obscur qui embrasse l’esprit, au lieu d’une science qui le cultive”.

Poder-se-á então indagar qual o significado real de imaginação, quando se fala de um projeto filosófico unificado em Descartes. Para ele, a imaginação não é confiável, embora possa servir aos desígnios da Geometria, pois o “imaginar”, enquanto modo de pensar, pode criar imagens sem estabelecer relação com objetos reais⁹⁶. O que Descartes declara na Regra XII, ao examinar a imaginação enquanto força motriz, deve nos bastar:

Em quarto lugar, é necessário representar a força motriz ou os próprios nervos que nascem no cérebro, onde se encontra a imaginação que os move de diversos modos, assim como o sentido externo move o sentido comum, ou como a parte inferior da pluma move a pluma inteira. [...] Pois o entendimento pode ser movido pela imaginação ou, ao contrário, agir sobre ela, como, da mesma forma, a imaginação pode agir sobre os sentidos pela força motriz, os aplicando aos objetos, ou, ao contrário, os sentidos podem agir sobre ela, delineando nela as imagens dos corpos; mas a memória, que é corpórea e semelhante à dos animais, não é distinta da imaginação, disso se conclui com certeza que se o entendimento se ocupa de coisas que nada têm de corporal ou semelhante ao corpo não pode ser ajudado por essas faculdades, e que, ao contrário, para não ser embaraçada por elas, deve afastar os sentidos e, o quanto possível, despojar a imaginação de toda impressão distinta (DESCARTES, 1999, pp. 78-9)⁹⁷.

A imaginação é ativa quando é guiada pelo entendimento, ou pela intuição e dedução, que expulsam da mente toda ideia sensível de corpo para produzir sua ideia clara e distinta, a saber, a extensão, através de curvas e retas que representam o objeto corpóreo. Quando é passiva, a imaginação, no uso comum do termo, recebe as figuras dos sentidos para reter na memória a cópia dessas figuras. Enquanto força motriz, a imaginação depende da ação natural dos nervos, que estão no interior do cérebro, e se agitam ao receber a impressão sensível de objetos corpóreos ou para guardar, na memória, imagens impressas no cérebro por essa força motriz. Para a imaginação tornar-se ativa, é necessário que o entendimento expulse toda e qualquer imagem sensível retida na memória e, dessa forma, os atos puros da mente colocar-

⁹⁶ Na segunda seção deste capítulo teremos uma exposição Metafísica sobre esse tipo de estado mental, que dá origem às ideias confusas e obscuras. Nesta seção, a imaginação será tratada como uma faculdade da mente cuja utilidade consiste em representar os objetos da Geometria.

⁹⁷ “Quatrième, il faut se représenter que la force motrice ou les nerfs eux-mêmes prennent naissance dans le cerveau, où se trouve l’imagination qui les meut diversement, comme le sens externe meut le sens commun, ou la partie inférieure de la plume la plume toute entière. [...] Car, puisque l’entendement peut être mû par l’imagination ou au contraire agir sur elle, que, de même, l’imagination peut agir sur les sens par la force motrice, en les appliquant aux objets, ou qu’au contraire les sens peuvent agir sur elle, en y peignant les images des corps, mais que la mémoire, celle au moins qui est corporelle et semblable à celle des bêtes, n’est en rien distinct de l’imagination, on en conclut avec certitude que, si l’entendement s’occupe de choses qui n’ont rien de corporel ou de semblable au corps, il ne peut être aidé par ces facultés, et qu’au contraire, pour ne pas être entravé par elles, il doit écarter les sens et, autant que possible, dépouiller l’imagination de toute impression distincte”.

se-ão a serviço da imaginação para representar clara e distintamente as grandezas dos objetos corpóreos.

Apesar da Álgebra e da Geometria Analítica possuir alguns defeitos, conforme o que diz Descartes no *Discurso*, o método é formulado a partir delas:

Depois, notei que para conhecê-las [as ciências particulares comumente chamadas de matemáticas] teria algumas vezes necessidade de considerá-las cada qual em particular, e outras vezes somente retê-las ou compreendê-las várias em conjunto, pensei que, para melhor considerá-las em particular, devia supô-las em linhas, pois não encontrei nada de mais simples nem que pudesse mais distintamente representar à minha imaginação e aos meus sentidos; mas que, para retê-las ou compreendê-las em conjunto, era necessário que eu explicasse por algumas cifras, as mais breves possíveis; e que, por esse meio tomaria emprestado o melhor da análise geométrica e da álgebra e corrigiria todos os defeitos de uma pela outra (DESCARTES, 1999, p. 139)⁹⁸.

O principal defeito da Análise Geométrica clássica é submeter o raciocínio do entendimento à imaginação; o da Álgebra é fatigar o raciocínio com suas complicadas cifras. Para compensar os defeitos de uma pela outra é necessário, em primeiro lugar, emprestar o labor do entendimento da Álgebra à Geometria, para àquela submeter a imaginação ao raciocínio. Em segundo lugar, é necessário descansar o raciocínio da Álgebra pela Geometria, tomando emprestado da imaginação linhas e curvas geométricas que serão representadas por cifras mais econômicas. Por isso, a Álgebra é antes uma ciência que uma arte, pois a ela cabe a função de refletir sobre a natureza de seus objetos, isto é, de suas cifras, para compô-los segundo a representação de linhas e curvas da Geometria Analítica:

[...] quando ela [a Álgebra] é tomada enquanto *ciência*, apoiando certos objetos, a álgebra não é mais uma *forma* de fazer, mas antes uma reflexão das *formas* ou modos sob os quais o objeto se apresenta: esta vez, as qualidades e os inconvenientes dessa ciência não dependem mais do sujeito, mas da natureza do *objeto* representado, assim como do

⁹⁸ “Puis, ayant pris garde que, pour les connaître, j’aurais quelquefois besoin de les considérer chacune en particulier, et quelquefois seulement de les retenir, ou de les comprendre plusieurs ensemble, je pensai que, pour les considérer mieux en particulier, je les devais supposer en des lignes, à cause que je ne trouvais rien de plus simple ni que je pusse plus distinctement représenter à mon imagination e à mes sens; mais que, pour les retenir ou les comprendre plusieurs ensemble, il fallait que je les expliquasse par quelques chiffres, les plus courts qu’il serait possible; et que, par ce moyen, l’emprunterais tout le meilleur de l’analyse géométrique et de l’algèbre, et corrigerais toutes les défauts de l’une par l’autre”.

grau de adequação dessa representação (TIMMERMANS, 1995, p. 84; grifo do autor)⁹⁹.

Apesar dos defeitos que a imaginação pode produzir na Geometria Analítica, não se deve deixar de especificar sua importância fundamental nas construções geométricas, pois Descartes atribui a imaginação, segundo o que há na Regra XIV, a função de faculdade mental que deve auxiliar o entendimento na resolução de problemas¹⁰⁰:

É fácil concluir que terá grande proveito ao relacionar o que dizemos das grandezas em geral à espécie de grandeza que, entre todas, representar-se-á mais fácil e distintamente em nossa imaginação; ora, que essa grandeza seja a extensão real de um corpo, abstraída de qualquer coisa que seja figurada, e disto segue o resultado do que foi dito na regra doze, onde vemos que a imaginação, com as ideias que existem nela, é apenas de um corpo verdadeiro, real, extenso e figurado (DESCARTES, 1999, p. 97)¹⁰¹.

O auxílio da imaginação se volta para o objeto real que será representado por sua figura. Mas a representação só é possível quando o entendimento submete a imaginação aos seus limites, se apropriando, dessa forma, das figuras, objetos próprios da Geometria. A figura é então representada por dimensões espaciais e tem sua grandeza definida por atos mentais, intuição e dedução, que Descartes acredita serem fundamentais para a garantia do conhecimento perfeito.

Somente os atos mentais dos quais Descartes se refere poderão submeter a imaginação à disciplina, tendo em vista que, enquanto força motriz, a imaginação pode criar objetos que misturam memória e experiência sensível dentro da mente. Desse modo, as operações da Álgebra deverão se apoiar nas figuras representadas pela Geometria, que faz um uso

⁹⁹ “[...] lorsqu’elle est prise en tant que *science* portant sur certains objets, l’algèbre n’est plus une *façon* d faire mais plutôt une réflexion des *façons* ou des modes sous lesquels l’objet se présent: cette fois les qualités et les inconvénients de cette science ne dépendront plus du sujet mais de la nature de l’*objet* représenté, ainsi que du degré d’adéquation de cette représentation.” O autor se refere tanto ao “jeito” peculiar de operar a Álgebra quanto à figura do objeto circunscrita em limites espaciais e cujas dimensões em largura, comprimento e profundidade, representam os modos da extensão.

¹⁰⁰ Nas *Règles pour la direction de l’esprit*, Descartes se revela como um pedagogo ao ensinar o que devemos fazer para executar o método proposto por ele. No entanto, os quatro preceitos anunciados nos *Discours* mostram apenas as principais regras do método, mas é nas *Règles* que se tem uma formulação mais precisa do que Descartes tem em mente ao pensar um método capaz de resolver os problemas dos diversos objetos da ciência.

¹⁰¹ “D’où il est facile de conclure qu’il y aura grand profit à rapporter ce que nous disons des grandeurs en général à l’espèce de grandeur qui entre toutes se représentera le plus facilement et le plus distinctement à notre imagination; or, que cette grandeur soit l’étendue réelle d’un corps, abstraite de toute chose autre que ce qui est figure, cela de ce qui a été dit à la règle douze, où nous avons vu que l’imagination elle-même, avec les idées qui existent en elle, n’est qu’un vrai réel étendu et figure”.

proveitoso da imaginação em benefício do entendimento guiado pela intuição e dedução, e não por objetos sensíveis guardados na memória.

A aplicação da Regras é fundamental para a execução de um sistema filosófico unificado, isto é, do método propriamente dito, que elabora operações de muita originalidade quando combina disciplinas matemáticas, Álgebra e Geometria, para a composição de um método universal. Neste sentido, o método cartesiano é *sui generis*, pois é um sistema único de certezas, que serve de instrumento para resolver os problemas dos diversos objetos da ciência, além de subverter a Matemática cultivada pela tradição escolástica, ao fazer da ordem e da medida objeto da *mathesis universalis* para corrigir os defeitos da Álgebra pela Geometria e vice-versa. A Regra IV, portanto, nos ensina o que nos é necessário para a compreensão da função original do método cartesiano:

E, se refletimos atentamente, observa-se que somente as coisas onde se estuda a ordem e a medida estão atadas à Matemática, e não importa que essa medida seja buscada nos números, figuras, astros, sons, ou qualquer outro objeto; observa-se também que deve haver alguma ciência geral que explique tudo o que se pode buscar no que diz respeito à ordem e a medida sem aplicação de um assunto particular, e que essa ciência é chamada, não de um nome estranho, mas de um nome antigo e usado, *mathesis universalis*, porque contém tudo aquilo a que as outras ciências são chamadas partes da Matemática (*Ibid.*, pp. 50-1; grifo nosso)¹⁰².

Para Descartes, a ordem e a medida não são exclusivas às ciências matemáticas. Ao contrário, todas as ciências são partes da Matemática porque a ordem e a medida, como operações da mente, podem ser buscadas em seus diversos objetos. Tais operações só explicam os objetos da sensação e da imaginação porque são por elas que as ciências encontram seus limites pelo exercício da mente pura e atenta. Por análise, o que há de confuso e obscuro nesses objetos são afastados, abstraindo-os da ordem e da medida para se elaborar um conhecimento certo desses objetos. O método cartesiano então se estende a todos os

¹⁰² “Et si l’on y réfléchit plus attentivement, on remarque enfin que seules toutes les choses où étudie l’ordre et la mesure se rattachent à la mathématique, sans qu’il importe que cette mesure soit cherchée dans des nombres, des figures, des astres, des sons, ou quelque autre objet; on remarque ainsi qu’il doit y avoir quelque science générale expliquant tout ce qu’on peut chercher touchant l’ordre et la mesure sans application à une matière particulière, et que cette science est appelée, non pas d’un nom étranger mais d’un nom déjà ancien et reçu par l’usage, *mathématique universelle*, parce qu’elle renferme tout ce pourquoi les autres sciences sont dites des parties de la mathématique”. A edição das *Règles* que se utiliza nesta investigação traduz o termo latim *mathesis universalis* para o francês *mathématique universelle*; no texto em latim, o termo significa “disciplina universal”, pois Descartes considera que o significado da Matemática está além daquilo que se denomina aritmética e Geometria, abrangendo um significado mais geral, a disciplina (Cf. DESCARTES, 1973, AT, X, pp. 377-78); por isto se preserva aqui o significado latim, pois universal é o método que toma emprestado das ciências matemáticas seu rigor e certeza que exigem “disciplina”.

objetos das ciências, pois a disciplina universal não só os contém, mas fazem deles parte da ciência Matemática que os explica pela ordem e medida. Dessa forma, a ideia de Filosofia cartesiana implica um conhecimento perfeito e seguro de todas as coisas, segundo o método universal que é compreendido como um sistema de unificação das ciências, e que, segundo a analogia da árvore do conhecimento, torna essencial a ordem e a medida nas demonstrações de todo seu conjunto.

3.2) O desenvolvimento da Metafísica cartesiana

A Metafísica cartesiana é objeto de grandes discussões entre os intérpretes que questionam o seu lugar na Física, já que o próprio Descartes, através da metáfora da árvore do conhecimento, afirma que os *Princípios* formam a base Metafísica de toda ciência. Ele crê que essa obra contém os princípios de todo conhecimento certo e seguro, mas a cronologia de sua obra mostra que os *Princípios* vieram depois de suas obras científicas propriamente ditas. Na verdade, a publicação dessa obra, em 1644, brota da necessidade de Descartes mostrar que toda ciência, conforme a metáfora da árvore, extrai sua seiva da Metafísica, da necessidade de demonstrar o fundamento de tudo o que ele investigou, nas ciências naturais, e da reivindicação de seus interlocutores que questionaram o tipo de demonstração que ele executou em sua obra Física.

Antes dos *Princípios*, Descartes publica, em 1641, suas *Meditações*, obra em que ele não só executa seu método, o chamado método de análise, mas também estabelece o fundamento metafísico das ciências com o objetivo de garantir a certeza e evidência das descobertas científicas¹⁰³. Apesar de Descartes pouco falar de síntese, podemos encontrar os vestígios desse tipo de demonstração quando ele explica seu uso na construção de um cicloide (*roulette*) na carta a Mersenne de 11 de outubro de 1638:

Não mudei de forma alguma o *medium* em minha demonstração do cicloide, pois consiste na igualdade dos triângulos inscritos, o que sempre contive; mas o encontrei a primeira vez pela *analytice*, e depois, porque vi que ele [referindo-se aos erros de cálculo de Roberval, após ler seu *Traité de mécanique*] não soube fazer o cálculo, o expliquei depois pela *synthetice*. Ele deveria ter vergonha de ter negado minha

¹⁰³ Esse tema é objeto de discussão de minha dissertação de mestrado, mas BATTISTI (2002, pp. 155-172), em sua tese de doutorado, também faz um exame minucioso das etapas do método e sua origem, e sobre o qual o raciocínio de Descartes está erigido.

primeira demonstração, isto é, de não saber calcular os triângulos inscritos nesse cicloide e no círculo ((DESCARTES, 1999, p.1038)¹⁰⁴.

A síntese, para Descartes, é a via mais fácil, pois o princípio de que ela depende é uma conquista da descoberta analítica, o caminho mais difícil porque mostra como a coisa buscada foi encontrada. De uma forma geral, podemos dizer que tais demonstrações são compostas de: 1) análise: que consiste no tipo de demonstração que abre o caminho da descoberta e se subdivide em: 1.1) *redução* – que supõe conhecido o que é desconhecido; 1.2) *resolução* – que prova como o desconhecido é descoberto pela regra da evidência; 2) síntese: que consiste na composição da descoberta de problemas mais complexos para deduzir novas descobertas através da Geometria e se subdivide em: 2.1) *construção* – que traduz, numa linguagem geométrica, o objeto descoberto pela análise, caso o objeto descoberto estabeleça relação com problemas muito complexos; 2.2) *prova* – completa, com novos resultados quantitativos, o objeto de tradução geométrica. Observe que, nas *Segundas respostas*, Descartes diz que a análise “mostra como uma coisa foi metodicamente descoberta”, e a síntese “arranca o consentimento do leitor obstinado e opiniático” (*Ibid.*, 1999, p. 388)¹⁰⁵. Por isto, a síntese só é fornecida depois da análise quando o problema examinado envolve dificuldades que sozinha ela não pode resolver. Isto Roberval não compreendeu, na medida em que a curva do cicloide não precisa da síntese para ser resolvida. No caso da Metafísica, que elabora o conhecimento a partir de elementos mais simples e fáceis de conhecer, como são os casos da existência de Deus e da distinção entre espírito e corpo, a demonstração sintética não precisa ser fornecida, embora Descartes o faça para responder às objeções sobre esse assunto.

Em suas *Meditações*, Descartes oferece a sistematização Metafísica do conhecimento através da dúvida metódica, que mostra a inseparabilidade entre princípios metafísicos e ciência. Embora ele não tenha estabelecido sistematicamente tais princípios antes de desenvolver sua ciência natural, sobretudo em *O mundo* e nos *Ensaio*, que sucedem o *Discurso*, há de se observar a presença de princípios *a priori*, que, por definição, são evidentes por si mesmo, em sua obra científica. Nesse caso, deve-se considerar que, se ele não

¹⁰⁴ “Je n'ai nullement changé de *medium* en ma démonstration de la roulette, car il consiste en l'égalité des triangles inscrits, ce que j'ai toujours retenu; mais je l'avais trouvé la première fois *analytice*; et depuis, parce que j'ai vu qu'il n'en avait su faire le calcul, je l'ai expliqué après *synthetice*. Il devrait avoir honte d'avoir nié ma première démonstration, c'est-à-dire de n'avoir su calculer les triangles inscrits dans cette roulette et dans le cercle”.

¹⁰⁵ Os tipos de demonstração são fundamentais para se compreender o que faz Descartes na *Dióptrica*, pois sua determinação Matemática é fornecida nas *Regras* e abre o caminho para que o método de análise e síntese pode ser compreendido. No Capítulo 5, desta tese, o significado de demonstração terá seu desdobramento epistêmico a partir da Matemática enquanto disciplina Universal, enquanto modo de pensar sob critérios de certeza determinados pelo rigor do pensamento.

sistematizou tais princípios, ao menos deles se ocupou ao abordar assuntos da Física na obra *O mundo*¹⁰⁶. Em outra carta a Mersenne, datada em 15 de abril de 1630, há como identificar o interesse de Descartes em estabelecer os princípios da Física pela Metafísica:

Mas não deixarei de tocar, em minha Física, várias questões metafísicas, e particularmente esta: que as verdades matemáticas, as quais denominais eternas, são estabelecidas por Deus e dele dependem inteiramente, bem como todas as criaturas. É, com efeito, falar de Deus como de um Júpiter ou Saturno, e sujeitá-lo a Estige ou aos Destinados, do que dizer que essas verdades são independentes dele. Não tema, eu lhe peço, para assegurar e propagar em toda parte que é Deus que estabelece essas leis na natureza, assim como um rei estabelece leis em seu reino. Ora, não há em qualquer delas, em particular que não possamos compreender se nosso espírito se coloca a considerá-las, e são todas elas *mentibus nostris ingentæ*, assim como um rei imprime suas leis no coração de todos seus súditos, se tiver muito poder para isso (DESCARTES, 1999, p. 933)¹⁰⁷.

Nota-se que Descartes, desde essa época, elabora o argumento da marca impressa, àquele já elaborado nas *Meditações*. Tal argumento nos mostra que, em sua doutrina, existem certas ideias que são inatas e por serem colocadas em nossa mente por Deus são necessariamente verdadeiras, inclusive as leis naturais que explicam os efeitos produzidos no mundo físico, isto é, os efeitos que só podem ser vistos na experiência sensível, que oculta sua verdadeira causa, coisa que a mente pura e atenta pode revelar ao executar o método de análise.

Mas qual é a natureza das verdades eternas, uma vez que são obtidas através da abstração mental? Segundo Descartes, no artigo 49, *Princípios I*, essas verdades são também denominadas de noções comuns, ou seja, noções expressas por axiomas, tais como a

¹⁰⁶ Essa obra está dividida em duas partes: *O mundo de René Descartes ou o tratado da luz e o Tratado do homem*. Na verdade, o segundo texto é continuação do primeiro e foi produzido com o capítulo XVIII da obra, com título de *O homem de René Descartes*. Como o *Tratado do homem* foi publicado primeiramente numa tradução latina em 1662, em 1664, 14 anos após a sua morte, a obra é publicada em sua totalidade, mas na ordem inversa (Cf. BATTISTI, 2002, p. 270). Segundo ACZEL (2007, p. 112-14), em 1629 Descartes começa a trabalhar assuntos importantes de Física e Metafísica em *O mundo*, mas desistiu de publicá-lo por causa da condenação de Galileu, pois a obra faz abordagens sobre assuntos que confirmam o sistema heliocêntrico de Copérnico, motivo pelo qual Galileu é obrigado abjurar mediante as autoridades. Descartes então decide suspender a publicação ao temer possíveis acusações por parte da Inquisição.

¹⁰⁷ “Mais je ne laisserai pas de toucher en ma Physique plusieurs questions métaphysiques, et particulièrement celle-ci: Que les vérités mathématiques, lesquelles vous nommez éternelles, ont été établies de Dieu et en dépendent entièrement, aussi bien que tout le reste des créatures. C'est en effet parler de Dieu comme d'un Jupiter ou Saturne, et l'assujettir au Styx et aux Destinées, que de dire que ces vérités sont indépendantes de lui. Ne craignez point, je vous prie, d'assurer et de publier partout, que c'est Dieu qui a établi ces lois en la nature, ainsi qu'un roi établit des lois en son royaume. Or il n'y en a aucune en particulier que nous ne puissions comprendre si notre esprit se porte à la considérer, et elles sont toutes *mentibus nostris ingentæ*, ainsi qu'un roi imprimerait ses lois dans le cœur de tous ses sujets, s'il en avait aussi bien le pouvoir”.

impossibilidade de conceber que uma coisa seja e não seja ao mesmo tempo, ou que os raios de um círculo sejam distintos (DESCARTES, 1999, p. 593). Essas noções só existem dentro do pensamento porque são abstrações mentais que não precisam de demonstração, já que são evidentes por si mesmas.

Nas *Meditações*, a execução do método de análise é fundamental para mostrar que a ciência depende de princípios *a priori* para a edificação do conhecimento seguro¹⁰⁸. Na Primeira Meditação, por exemplo, a dúvida metódica levanta o problema do conhecimento, que não está fundado em bases seguras, e, por conseguinte, conduz a mente para longe dos sentidos que dão origem a juízos preconcebidos e, portanto, obscuros e confusos. No entanto, a dúvida o leva à constatação do *cogito*, que é a primeira verdade encontrada na cadeia de razões sem, todavia, garantir conhecimento algum, na medida em que é uma constatação sem validade objetiva¹⁰⁹.

Poder-se-á objetar o *cogito* como real ponto de partida, já que ele sequer foi deduzido de uma ideia clara e distinta. De fato, a dedução do *cogito* deve partir de algum ponto, já que, segundo o preceito da ordem, toda operação dedutiva deve partir da intuição, e não da dúvida, que é apenas um ato deliberativo da mente. Em primeiro lugar, nas *Meditações*, a figura do Gênio Maligno exerce a função de iniciar a dedução, embora tenha o poder de nos enganar, inclusive nas operações mais simples da Matemática (*Ibid.*, p. 272)¹¹⁰; em segundo lugar, apesar de Descartes considerar o *cogito* como o primeiro princípio da Filosofia, é antes um efeito de Deus, pois se ainda não se sabe qual é a natureza do *cogito*, não se diz que um conhecimento fundado numa constatação de validade subjetiva seja verdadeiro. Para o *cogito* ganhar validade objetiva, deve ser antes garantido por um princípio *a priori*, que é Deus, causa de nossa existência, das ideias claras e distintas e das coisas materiais existentes fora da mente. Portanto, todo princípio *a priori* é causa de alguma coisa e, como tal, deve produzir e explicar seus efeitos, inclusive em questões que estão no domínio da experiência sensível.

¹⁰⁸ Segundo COTTINGHAM (1995, pp. 56-7), Descartes, ao fazer uso da dúvida sistemática, não pode ser acusado de ceticismo, pois a dúvida é antes um meio para se chegar a um fim, que é o conhecimento indubitável, e não um fim e si mesmo.

¹⁰⁹ O *cogito* só passa a ter validade objetiva na Terceira Meditação, com a prova *a posteriori*, isto é, pelos efeitos, da existência de Deus, que é a garantia Metafísica de que todas as ideias claras e distintas são verdadeiras e operadas corretamente pela mente vazia de conteúdos sensíveis (Cf. DESCARTES, 1999, p. 294). Os objetos exteriores ao “eu” não podem produzir um conhecimento seguro, ao passo que Deus, que é também uma existência fora do “eu”, por sua infinita perfeição concede à razão a capacidade de produzir conhecimento quando a mente é dirigida pela intuição e dedução, atos mentais discutidos anteriormente.

¹¹⁰ É necessário supor a existência do Gênio Maligno para dar início à dedução de verdades, segundo o preceito da ordem das razões. Embora depois seja provada a existência de um Deus soberanamente bom e perfeito, essa suposição é fundamental para o início da análise redutiva, que supõe conhecido o que é desconhecido.

Sabe-se que, no argumento da marca impressa, existem verdades eternas dentro da mente e que são apenas obtidas por abstração, já que não têm relação com objetos fora da mente. Existem algumas verdades que se relacionam com esses objetos, pois Descartes não haveria de buscar princípios *a priori* que não fossem capazes de explicar a existência de objetos fora da mente, isto é, dos objetos que estão no domínio da experiência sensível. Se existem objetos mentais auto evidentes, qual é, então, a real natureza da “verdade” e qual é a sua relação com objetos materiais? Por ora, a prova *a priori* da existência de Deus é fundamental para a distinção entre mente e corpo enquanto substâncias, prova que só ocorre na Quinta Meditação¹¹¹. Para saber como ambos se distinguem, é preciso antes examinar a distinção entre alma e espírito para que depois se esclareça como Descartes concebe as substâncias pensamento e extensão. Por conseguinte, é preciso saber por que verdades abstratas se relacionam a objetos materiais através da noção de verdade como princípio de correspondência para esses objetos.

Descartes, nas *Quintas Respostas*, explica por que prefere o termo mente, que em francês se traduz por *esprit* e em latim por *mens*, do que alma, que em francês se traduz por *âme* e em latim por *anima*. Afinal, o *esprit* não designa parte alguma da alma, mas a alma inteira que pensa (Cf. DESCARTES, 1999, p. 481-82). Naturalmente, o termo *anima* evoca a tradição escolástica, que, por sua vez, atribui à alma todas as qualidades ou funções que a Filosofia cartesiana precisa eliminar, ou seja, a obscuridade das sensações que se produz com a união da alma e do corpo. Quando Descartes emprega o termo *âme*, certamente se refere aos apetites ou funções que a alma desempenha para explicar as sensações ou associações psicofísicas que determinam sentimentos de amor e ódio, tristeza ou alegria por exemplo. Estes sentimentos dependem da ação dos objetos corpóreos que excitam a alma e são causados por movimentos dos espíritos animais¹¹². Portanto, o termo *anima* traz consigo qualidades subjetivas que confundem o ato puro de pensar, exercício fundamental da mente ou espírito, mas que explica o ato de sentir ou imaginar, percepção da alma unida ao corpo. Por esta razão, Descartes emprega o termo *mens*, em suas traduções latinas, e o termo *esprit*, nas traduções francesas, ao mostrar sua oposição à tradição aristotélico-tomista (DESCARTES, 1987, p. 308). Mas o que é são sentir e o imaginar, já que essas faculdades ou

¹¹¹ Embora Descartes nos forneça a prova *a priori*, a que chamamos de prova ontológica, na Quinta Meditação, há, no *Discurso*, uma reflexão sobre a ideia de perfeição que dá origem a esse tipo de prova, reflexão semelhante a que ele formula na Quinta Meditação.

¹¹² O movimento dos espíritos animais, segundo o art.7, *Les passions de l'âme*, é definido pela ação de partes muito sutis do sangue que penetram os pequenos filamentos nervosos, transmitindo todos os tipos de sensações para nossa alma (DESCARTES, 1999, p. 698-9).

funções da alma podem auxiliar a mente na edificação do conhecimento ao passo que dão origem às ideias confusas e obscuras? Segundo as *Meditações*, o imaginar não é outra coisa senão “[...] contemplar a figura ou a imagem de uma coisa corporal” (DESCARTES, 1999, p. 277-78)¹¹³. No uso mais comum do termo, a imaginação recebe as figuras dos sentidos para reter na memória suas cópias. Quando há recordação da imagem sensível do Sol, por exemplo, sabe-se que esta imagem não corresponde ao seu tamanho real, na medida em que o Sol é um astro de quinta grandeza, mas só é percebido sensivelmente num tamanho bem menor. A relação de distância é fundamental para a concepção clara e distinta da imagem real do Sol. Portanto, as ideias da imaginação são confusas porque têm sua origem nas sensações, pois dependem dos objetos que estão fora da mente ao guardar na memória imagens desses objetos¹¹⁴. Já o sentir é um modo de pensar confuso, pois depende da existência material e mistura alma e corpo para ocultar da mente a concepção clara e distinta. Observa-se agora o argumento que Descartes utiliza para provar a união entre alma e corpo, na Sexta Meditação:

A natureza também me ensina por esses sentimentos de dor, de fome, de sede, etc., que não somente estou alojado em meu corpo assim como um piloto em seu navio, mas que, além disso, estou conjugado muito estreitamente e de tal modo confundido e misturado, que componho com ele um único todo. Pois, se não fosse assim, quando meu corpo é ferido, não sentiria por isso a dor, eu que sou apenas uma coisa que pensa, e só perceberia esse ferimento pelo entendimento, como um piloto apercebe pela visão se alguma coisa se rompe em seu navio; e ainda que meu corpo tenha a necessidade de beber ou comer, simplesmente conheceria isso mesmo sem ser advertido por sentimentos confusos de fome e de sede. Com efeito, todos esses sentimentos de fome, sede, dor, etc., não são outra coisa senão certos modos confusos de pensar que provêm e dependem da união, tal como da mistura de *espírito* e corpo (*Ibid.*, p. 326; grifo nosso)¹¹⁵.

¹¹³ “[...] contempler la figure ou l’image d’une chose corporelle”.

¹¹⁴ Para Descartes, existem três tipos de ideias, a saber, as claras e distintas, do pensamento puro, as adventícias, que tem sua origem nas sensações, e as fictícias, que são inventadas a partir da coleção que se faz de várias imagens guardadas na memória, na criação de uma outra imagem que não corresponde à realidade. (Cf. DESCARTES, 1999., p. 287).

¹¹⁵ “La nature m’enseigne aussi par ces sentiments de douleur, de faim, de soif, etc., que je ne suis pas seulement logé dans mon corps, ainsi qu’un pilote en son navire, mais, outre cela, que je lui suis conjoint très étroitement et tellement confondu et mêlé, que je compose comme un seul tout avec lui. Car, si cela n’était, lorsque mon corps est blessé, je ne sentirais pas pour cela de la douleur, moi qui ne suis qu’une chose qui pense, mais j’apercevrais cette blessure par le seul entendement, comme un pilote aperçoit par la vue si quelque chose se rompt dans son vaisseau; et lorsque mon corps a besoin de boire ou de manger, je connaîtrais simplement cela même, sans en être averti par des sentiments de faim et de soif. Car en effet tous ces sentiments de faim, de soif, de douleur, etc., ne sont autre chose que de certaines façons confuses de penser, qui proviennent et dépendent de l’union et comme du mélange de *l’esprit* avec le corps”. Nesta prova, Descartes utiliza o termo “espírito” porque estabeleceu antes a distinção entre as substâncias pensamento e extensão, que correspondem à mente e corpo respectivamente. Mas as sensações são também consideradas atividades da coisa pensante, produzindo ideias adventícias. Poder-se-á objetar como duas substâncias que se excluem podem se unir para causar na alma

O sentir, antes de tudo, só existe na alma, e de tal maneira não se pode separá-la das sensações de dor, fome, calor, etc. Os sentimentos são tão confusos que sequer dão origem aos juízos falsos, pois a capacidade de julgar é uma faculdade do entendimento, que submete as sensações mais obscuras à análise para assim poder julgar. Afinal, a clareza e distinção ficam escondidas quando se misturam às sensações, onde só a redução é capaz de concebê-las. A causa do erro não é o sentir, mas a vontade, que é concedida tão amplamente por Deus, e que muitas vezes confunde nossa mente ao deliberar juízos sem antes submetê-los ao exame¹¹⁶. Não são os sentidos que precisam ser corrigidos, pois eles tampouco nos enganam, mas o concurso da vontade é que nos faz tomar o falso pelo verdadeiro quando não está submetida aos limites do entendimento. Segundo Gueroult, os sentidos não são corrigíveis, mas somente o entendimento quando não subordina a vontade aos seus estreitos limites. O fato de o sentir ser confuso e obscuro não implica a causa do erro, já que somente a razão tem a capacidade de corrigir a si mesma:

Somente quando, retificando nossos raciocínios falsos, corrigimos nossos falsos julgamentos habituais é que, tocados pela novidade dos julgamentos que sobrevêm, tomamos finalmente consciência da intervenção do entendimento. Dizemos, então, que corrigiu o sentido; porém, o que tem corrigido, na realidade, não é o sentido, mas o mau uso feito previamente no entendimento (GUEROULT, II, 1953, p. 48)¹¹⁷.

Para a garantia do conhecimento seguro, a separação mente e corpo é fundamental, pois a noção cartesiana de substância é o que torna discerníveis as paixões da alma. No artigo 51, *Princípios I*, Descartes define substância da seguinte forma: “[...] uma coisa que existe de tal modo que apenas há a necessidade de si mesma para existir” (DESCARTES, 1999, p. 594)¹¹⁸. O único ser que depende de si para existir é Deus, mas a noção de substância, evidentemente oriunda da tradição escolástica, se estende aos demais objetos existentes, se for considerada sua causa formal na busca da essência desses objetos, pois Deus é a causa

sensações? Este é um problema clássico na Metafísica cartesiana, mas há uma resposta “ocasionalista” para esse problema, como em Malebranche, pois a união entre mente e corpo não é resolvida definitivamente por Descartes, a não ser que Deus, por sua onipotência, queira que isso seja assim, já que não se pode compreender seus desígnios em sua totalidade. (Cf. COTTINGHAM, 1995, p. 118).

¹¹⁶ A vontade, na Quarta Meditação, é uma faculdade da alma mais ampla que o entendimento, mas, se ela for contida nos limites do entendimento, é possível corrigir os erros dos juízos falsos. Entretanto, ela nos torna a imagem e semelhança de Deus, pois é concedida infinitamente em nossa alma, e se sabe que o infinito é um atributo divino. (Cf. DESCARTES, *Méditations*, 1999, p. 307).

¹¹⁷ “C’est seulement lorsque, rectifiant nos faux raisonnements, nous corrigeons nos faux jugements habituels, que, frappés par la nouveauté des jugements qui surviennent alors, nous prenons conscience de l’intervention de l’entendement. Nous disons alors qu’il a redressé le sens. Mais ce qu’il a redressé, en réalité, ce n’est pas le sens, c’est le mauvais usage qu’il avait préalablement fait le lui-même”.

¹¹⁸ “[...] une chose qui existe en telle façon qu’elle n’a besoin que de soi-même pour exister”.

eminente deles. Existem, portanto, duas substâncias criadas por Deus, mas que não dependem uma da outra para existir, segundo a definição dada nas *Meditações*:

Pois, quando penso que a pedra é uma substância, ou uma coisa que é capaz de existir por si, e em seguida que sou uma substância, ainda que eu conceba que sou uma coisa que pensa e não-extensa, e que a pedra, ao contrário, é uma coisa extensa e que não pensa, e que entre essas duas concepções se encontram uma notável diferença, todavia elas parecem concordar com as substâncias que representam (DESCARTES, 1999, p. 293)¹¹⁹.

A prova da existência de Deus se aplica à noção de substância como *causa sui* e estabelece sua superioridade hierárquica no ato de criação das demais substâncias. O pensamento não pode ser causa do corpo e nem o corpo pode ser do pensamento, pois a hierarquia divina compele sua eminência criadora, em relação às coisas que se distinguem entre si por sua essência, a saber, o pensamento e a extensão, tal como foi evocado no artigo 53, *Princípios I*:

Mas, ainda que cada atributo seja suficiente para fazer conhecer a substância, há, todavia um em cada uma que constitui sua natureza e sua essência, e que todos os outros dependem. A saber, a extensão em comprimento, largura e profundidade, constitui a natureza da substância corporal; e o pensamento constitui a natureza da substância que pensa (*Ibid.*, p. 595)¹²⁰.

Ainda que o principal atributo do corpo seja a extensão, as dimensões em comprimento, largura e profundidade configuram seus modos, embora existam outros modos da extensão, como, por exemplo, a duração, o tempo, o movimento dentre outros. O mesmo ocorre com o principal atributo da substância pensante, que é o pensamento puro, pois o sentir, o imaginar, o duvidar também são modos de pensamento que precisam ser submetidos ao rigor da mente, que elimina a obscuridade desses modos de pensar. Aliás, a concepção das substâncias pensamento e extensão é fundamental para a distinção radical entre mente e corpo como coisas reciprocamente estranhas e independentes entre si.

¹¹⁹ “Car, lorsque je pense que la pierre est une substance, ou bien une chose qui de soi est capable d'exister, puis que je suis une substance, quoique je conçoive bien que je suis une chose qui pense et non étendue, et que la pierre au contraire est une chose étendue et qui ne pense point, et qu'ainsi entre ces deux conceptions il se rencontre une notable différence, toutefois elles semblent convenir en ce qu'elles représentent des substances”.

¹²⁰ “Mais, encore que chaque attribut soit suffisant pour faire connaître la substance, il y en a toutefois un en chacune, qui constitue sa nature et son essence, et de qui tous les autres dépendent. A savoir l'étendue en longueur, largeur et profondeur, constitue la nature de la substance corporelle; et la pensée constitue la nature de la substance qui pense”.

Não há dúvidas de que o conhecimento seguro, em Descartes, deve ser sustentado por um princípio *a priori*, o que implica a ideia de causa, e dele se deduzem os efeitos que dependem da realidade objetiva neles contida. Antes de Descartes realizar a prova *a posteriori* da existência de Deus, em sua Terceira Meditação, ele precisa examinar o valor objetivo das ideias que a mente contém. A ideia de um triângulo, por exemplo, é uma verdade eterna, mas sua realidade objetiva está na ação criadora de Deus, pois o triângulo é um objeto mental que não existe fora da mente, mas sua existência é causada por um ser que está fora da mente, isto é, Deus. No entanto, quando se tem ideia de árvore, por exemplo, com ela se associa a ideia de sua existência fora da mente. Desse modo, considera-se que tudo o que existe fora da mente possui realidade formal correspondente. No que consiste, então, a realidade objetiva das ideias? Esta é uma pergunta que implica a formulação manifesta nas *Meditações*, o que, sem dúvida, remete a existência a algo dentro da mente, mas em relação às coisas que existem fora dela:

Agora, algo se manifesta pela luz natural, que deve ter ao menos tanta realidade na causa eficiente e totalidade em seu efeito: pois de onde é que o efeito pode tirar sua realidade senão de sua causa? E como poderia esta causa lhe comunicar se não a tivesse em si mesma? (DESCARTES, 1999, p. 289)¹²¹.

Certamente, este seria um dos argumentos que, segundo Landim (1992, p. 61), é surpreendente, pois Descartes emprega a noção de realidade objetiva para a constatação do mundo material que, em si mesmo, é pura realidade formal. Em outras palavras, pode-se dizer que Descartes nos fornece uma Metafísica material, embora as verdades deduzidas nas *Meditações* sejam imateriais e, por esta razão, são mais simples e fáceis de conhecer¹²². Pode-se dizer, inclusive, que a teoria das ideias cartesiana busca representar diversos objetos através de seu conteúdo claro e distinto, na medida em que a Metafísica se dedica a estabelecer princípios para isso. A causa da ideia que se produz na mente vem do objeto material, sendo a ideia um efeito cuja realidade formal está contida no objeto. Isso é uma regra para todo o conhecimento que é produzido, pois é necessário buscar a realidade objetiva das coisas materiais para compreendê-las com clareza. Como o efeito está contido na causa, ele deve ter tanta realidade objetiva em nossa mente quanto a realidade formal que o produz. Portanto, a realidade objetiva do efeito só se manifesta pela “luz natural” quando ela

¹²¹ “Maintenant, c'est une chose manifeste par la lumière naturelle, qu'il doit y avoir pour le moins autant de réalité dans la cause efficiente et totale que dans son effet: car d'où est-ce que l'effet peut tirer sa réalité, sinon de sa cause? et comment cette cause la lui pourrait-elle communiquer, si elle ne l'avait en elle-même?”

¹²² A realidade objetiva dessas verdades é imaterial. Por isto, torna-se mais simples e fácil de conceber porque não representa objetos materiais, mas apenas os formais, conforme Regra III (Cf. DESCARTES, 1999, pp. 40-2).

representa a realidade formal de sua causa. Aplica-se então o princípio de causalidade que é essencial para estabelecer a verdade como princípio de correspondência.

Sabe-se agora que a realidade objetiva é um conteúdo mental de origem exterior, mas essa realidade, que pertence ao conteúdo representativo da coisa representada, só é real porque traz consigo a verdade revelada pela “luz natural”. Na carta de 16 de outubro de 1639 destinada a Mersenne, o significado de “verdade” é colocado como algo que corresponde à coisa conhecida verdadeiramente:

Assim, pode-se explicar *quid nominis* [dar uma explicação verbal] àqueles que não entendem a língua e lhes dizer que a palavra verdade, em sua própria significação, denota conformidade do pensamento com o objeto, mas que, quando a atribui às coisas que estão fora do pensamento, significa somente que essas coisas podem servir de objetos a pensamentos verdadeiros, seja aos nossos, seja aos de Deus (DESCARTES, 1999, p. 1059)¹²³.

Embora Descartes dê uma explicação nominal para o termo “verdade”, na Regra II ele diz que a Aritmética e a Geometria são as ciências mais certas, pois elas se ocupam de objetos simples e fáceis de conhecer, o que torna impossível ao homem cometer erros (*Ibid.*, p. 41). Esses objetos só são simples e fáceis de conhecer porque são vistos pela intuição que ilumina a verdade da qual não se pode duvidar. Se o conhecimento verdadeiro está fundado na intuição, é pela ideia de extensão que se pode produzir um conhecimento perfeito dos objetos fora da mente¹²⁴. Por outro lado, nas *Meditações* se determinam o lugar da teoria das ideias inatas ou intuição, que são antes um efeito de Deus, onde se leva a crer que não se pode conceber que uma “[...] ideia tire sua origem do nada” (*Ibid.*, p. 290)¹²⁵; Nem mesmo aquelas que têm sua origem nos sentidos, por mais obscuras e confusas que sejam, podem vir de outro lugar que não seja sua causa. Assim, a ideia das coisas exteriores só é verdadeira se puder explicar o ser que a causa, ou melhor, se houver correspondência com o ser da causa.

Na Terceira Meditação, depois que se estabelece o princípio de causalidade, que é fundamental para a relação entre ideia e coisa, a inserção da verdade como princípio de

¹²³ “Ainsi on peut bien expliquer *quid nominis* à ceux qui n'entendent pas la langue, et leur dire que ce mot vérité, en sa propre signification, dénote la conformité de la pensée avec l'objet, mais que, lorsqu'on l'attribue aux choses qui sont hors de la pensée, il signifie seulement que ces choses peuvent servir d'objets à des pensées véritables, soit aux nôtres, soit à celles de Dieu”.

¹²⁴ Tanto a intuição quanto a dedução são regras da razão que permitem a conquista do conhecimento verdadeiro do objeto (Cf. LANDIM, 1992, pp. 24-50). Portanto, a verdade não é outra coisa senão a representação objetiva de qualquer objeto de conhecimento.

¹²⁵ “[...] idée tire son origine du néant”.

correspondência se deve à realidade objetiva das ideias, que é a forma mais perfeita de representar a realidade formal delas, ou enquanto podemos pensá-las verdadeiramente. Se o conteúdo dessas ideias é verdadeiro, portanto, real, torna-se evidente, para Descartes, que o modo de pensar objetivo é mais perfeito do que a realidade formal contida no objeto de conhecimento, pois seu conteúdo representativo depende da aplicação do princípio de causalidade para a ligação entre ideia e coisa:

E ainda que possa ocorrer que uma ideia dê origem a outra, isso não pode se estender ao infinito, mas é preciso chegar ao fim, a uma primeira ideia cuja causa seja como um padrão original, na qual toda realidade ou perfeição esteja contida formalmente e em efeito, a qual só se encontre objetivamente ou por representação nessas ideias. De forma que a luz natural me faz conhecer evidentemente que as ideias estão em mim como quadros, ou imagens, que podem, na verdade, não conservar a perfeição das coisas de onde foram tiradas, mas que jamais pode conter algo de maior ou de mais perfeito (*Ibid.* p. 291)¹²⁶.

A analogia do quadro ou imagens nos é útil apenas para ilustrar a não conservação da perfeição das coisas que dão origem a essas ideias, na medida em que a representação contém apenas a realidade formal, e de forma alguma pode ser dito que o quadro ou imagem produzem ideias verdadeiras das coisas que representam. Por conseguinte, esse tipo de representação não se adequa ao seu objeto, pois não há como aplicar, nesse caso, o princípio de causalidade, que introduz a verdade como correspondência entre ideia e coisa. A conservação da perfeição só é possível quando se deduz da realidade formal a realidade objetiva dos objetos de nosso conhecimento.

Como a Matemática, em especial a Aritmética e a Geometria, está ocupada com objetos simples e fáceis de conhecer, a aplicação dessa ciência na Metafísica se torna edificante, pois a certeza Matemática é, para Descartes, um modo de representação abstrata mais perfeita dos objetos dentro e fora da mente. Segundo Gueroult, esse tipo de certeza vem sendo utilizado deste a Primeira Meditação:

[...] na *Primeira Meditação*, a análise regressiva que conduziu ao *Cogito* já tinha colocado as ideias matemáticas, a título de elementos

¹²⁶ “Et encore qu’il puisse arriver qu’une idée donne la naissance à une autre idée, cela ne peut pas toutefois être à l’infini, mais il faut à la fin parvenir à une première idée, dont la cause soit comme un patron ou un original, dans lequel toute la réalité ou perfection soit contenue formellement en effet, qui se rencontre seulement objectivement ou par représentation dans ces idées. En sorte que la lumière naturelle me fait connaître évidemment, que les idées sont en moi comme des tableaux, ou des images, qui peuvent à la vérité facilement déchoir de la perfection des choses dont elles ont été tirées, mais qui ne peuvent jamais rien contenir de plus grand ou de plus parfait”.

últimos componentes e indecomponíveis, como as condições de possibilidade de todas minhas representações das coisas sensíveis (GUEROULT, II, 1953, p. 24)¹²⁷.

Portanto, as ideias matemáticas são realidades perfeitas, pois são objetivas, na medida em que podem entrar em correspondência com a realidade formal das coisas sensíveis. Mais do que isto, são verdades reveladas por atos mentais (intuição e dedução) que iluminam o ser do objeto de conhecimento, ainda que as ideias matemáticas sejam objetos sem existência exterior, mas são, entretanto, a condição para a representação dos objetos exteriores, já que os tornam acessíveis ao conhecimento humano.

A certeza Matemática, nas *Meditações*, é definida por sua capacidade de clarear a obscuridade da experiência sensível, que é objeto da Física geométrica, pois, a causa das sensações, isto é, dos objetos que existem fora da mente, é também objeto de demonstração geométrica, na medida em que ela pode ser concebida clara e distintamente (Cf. DESCARTES, 1999, p. 318). Por isto, a prova da existência material se torna necessária para a representação geométrica dos seus componentes que só podem ser conhecidos pela ideia de extensão em seus modos e dimensões. Além disso, ainda é possível investigar “[...] a veracidade de nossa imagem perceptiva do mundo corpóreo através da dúvida sistemática, e o mundo corpóreo é então reconstruído dos primeiros princípios” (GAUKROGER, 1997, p. 338)¹²⁸. Os termos geométricos que o objeto material contém dependem do que é imediatamente evidente, da extensão. Prefere-se dizer, portanto, que o princípio metafísico da Física cartesiana é a extensão, sendo a determinação da representação imaterial da matéria por definição. Isto nos leva à conclusão de que Descartes se ocupou cuidadosamente de uma Física fundada e estabelecida por princípios *a priori*, manifestos nos modos da extensão, segundo a ordem e a medida, com o exercício sistemático da *mathesis universalis* em assuntos que são do domínio da Física, embora a organização sistemática desses princípios só ocorra nas *Meditações* e nos *Princípios*.

¹²⁷ “Dans la *Première Méditation*, l’analyse régressive qui conduisait au *Cogito* avait déjà posé les idées mathématiques, au titre d’éléments composants derniers et indécomposables, comme les conditions de possibilité de toutes mes représentations des choses sensibles”. A análise regressiva da qual Gueroult fala se trata da etapa redutiva do método de análise. Como a ordem natural do conhecimento depende de princípios *a priori* estabelecidos, Descartes, através da ordem indireta e regressiva explicada na Regra XVII, inverte os passos da ordem natural, supondo conhecido o que é desconhecido. Portanto, princípios *a priori* são antes conquistados pela ordem invertida, para depois seguir a ordem natural do conhecimento ao deduzir diretamente outras verdades a partir desses princípios.

¹²⁸ “[...] the veridicality of our perceptual image of the corporeal world by means of systematic doubt, and the corporeal world is then reconstructed from first principles.”

3.3) O desenvolvimento da Física cartesiana

Ao tratar da existência de coisas absolutas, consecutivamente se evoca o absoluto como terminologia Metafísica. Trata-se de uma representação sem matéria. Pode-se dizer que a ideia clara e distinta que se tem de qualquer coisa corpórea é obtida pela ideia de extensão, representação imaterial de qualquer objeto corpóreo. Quando se trata das coisas que se aplicam aos sentidos, é difícil determinar o que há de absoluto nelas, pois toda ideia sensível, por natureza confusa e obscura, é sempre relativa ao sujeito que recebe do objeto suas impressões sensíveis. E se o objeto da Física cartesiana é a experiência sensível, é importante dizer que tal objeto envolve a mistura de qualidades objetivas e subjetivas, que podem ser conhecidas verdadeiramente ao separar as coisas complexas das mais simples e fáceis de conhecer.

A mistura dessas qualidades torna a Física cartesiana uma ciência complexa, mas que produz um conhecimento verdadeiro quando a ideia complexa, isto é, sensível, é submetida ao exame da mente através do procedimento de análise. Para o avanço do conhecimento, a progressão das ideias é obtida pela redução, segundo a definição de método na Regra V:

Todo método consiste na ordem e disposição das coisas sobre as quais é necessário voltar à atenção do espírito para descobrir a verdade. Ora, nós a seguiremos exatamente se reduzirmos gradualmente as proposições complicadas e obscuras às mais simples, e se, em seguida, partindo da intuição das mais simples, tentar nos elevarmos pelos mesmos degraus ao conhecimento de todas as outras (DESCARTES, 1999, p. 52)¹²⁹.

Com o exame do objeto de conhecimento, o que é complexo deve ser antes reduzido ao simples, segundo a regra da ordem, e com isto supor conhecido o que é desconhecido, invertendo os passos da ordem natural do conhecimento. Somente após esta operação é possível encontrar o conhecimento das coisas mais complexas para assim elevar o grau de conhecimento à bases mais seguras. O que há de mais simples num problema complexo, como é o caso dos problemas da Física, é a ideia de extensão e seus modos, de tudo aquilo que pode ser concebido segundo a ordem e a medida. Exige-se, então, a aplicação da verdade como princípio de correspondência, em assuntos que pertencem à Física, permitindo a ligação

¹²⁹ “Toute la méthode consiste dans l’ordre et la disposition des choses vers lesquelles il faut tourner le regard de l’esprit, pour découvrir quelque vérité. Or nous la suivrons exactement, si nous ramenons graduellement les propositions compliquées et obscures aux plus simples, et si ensuite, partant de l’intuition des plus simples, nous essayons de nous élever par les mêmes degrés à la connaissance de toutes les autres”.

entre coisas simples e complexas, causa e efeito, e, por assim dizer, entre o absoluto e o relativo, considerando o que é dito na Regra VI:

Denomino absoluto tudo o que contém em si a natureza pura e simples que está em questão: assim, tudo o que é considerado como independente, causa, simples, universal, uno, igual, semelhante, reto, ou outras coisas desse gênero; e o denomino o mais simples e fácil, a fim de nos servirmos para resolver as questões. O relativo, ao contrário, é o que participa daquela mesma natureza, ou ao menos de alguma coisa dela, por onde pode ser ligado ao absoluto e ser deduzido seguindo certa ordem (*Ibid.*, p. 53)¹³⁰.

Se as coisas complexas estão em relação com as coisas mais simples, naturalmente, só chegamos ao conhecimento dos efeitos pelas causas, pois todo efeito depende da causa, embora se possa chegar ao conhecimento da causa pelos efeitos, quando são indispensáveis demonstrações *a posteriori*. Como toda dedução só pode ser obtida pela intuição, segundo a ordem das razões, àquela depende desta tal como o efeito depende da causa. Há de se lembrar que intuição e dedução, como atos mentais ou regras da razão, são operações da mente que reduzem o complexo ao simples, em busca das coisas absolutas ou mais simples e fáceis de conhecer, obedecendo, na redução, a ordem invertida do conhecimento¹³¹. O que há de mais absoluto numa cadeia dedutiva é o princípio e com ele se deduzem efeitos ou coisas relativas, assegurando assim uma conexão para a construção do conhecimento verdadeiro.

No entanto, poder-se-á perguntar como a Física cartesiana, ciência da experiência sensível, encontra o absoluto nas coisas sensíveis, se no mundo da observação e da experiência só se obtém a percepção de princípios que, em relação a outros, são mais relativos? A separação entre coisas absolutas e relativas é bastante sutil, pois a sequência dedutiva de uma série nos remete a relações causais que aproximam e distanciam o efeito da causa de forma contínua. Na Regra IV, o absoluto pode estar em relação com alguma coisa, tornando-se relativo em relação à outras:

¹³⁰ “J’appelle absolu tout ce qui contient en soi la nature pure et simple dont il est question: ainsi tout ce qui est considéré comme indépendant, cause, simple, universel, un, égal, semblable, droit, ou d’autres choses de ce genre ; et je l’appelle le plus simple et le plus facile, afin que nous nous en servions pour résoudre le questions ; le relatif, au contraire, est ce qui participe à cette même nature, ou du moins à quelque chose d’elle, par où il peut être rattaché à l’absolu et en être déduit suivant un certain ordre”.

¹³¹ O absoluto, neste sentido, é utilizado como um termo análogo ao princípio, base fundamental para a construção de todo o edifício do conhecimento. No entanto, se for empregado o termo absoluto na ordem invertida do conhecimento, ele funciona como se fosse um princípio, mas não o é, pois, nessa ordem, a suposição é análoga ao termo absoluto, possuindo relação com o princípio verdadeiro somente encontrado ao final da redução analítica. No art. 47, *Principes* III, Descartes declara que não importa que suposições sejam falsas, pois seu uso se torna legítimo quando delas se deduzem efeitos muito verdadeiros

O segredo de todo método consiste em observar atentamente o que há de mais absoluto. Certas coisas, com efeito, em certo ponto de vista, são mais absolutas que outras, mas, consideradas de outra maneira, são mais relativas: [...] assim, se consideramos os indivíduos, a espécie é alguma coisa absoluta, e se consideramos o gênero, ela é alguma coisa relativa (DESCARTES, 1999, p. 54)¹³².

Na *Dióptrica*, por exemplo, Descartes descobre a lei de refração através da constante entre os senos de incidência e refração (*Ibid.*, p. 194). Essa lei, por sua vez, tem o objetivo de corrigir aberrações esféricas e cromáticas quando a luz atravessa um meio transparente, como é o caso do que acontece com as lentes fabricadas para lunetas¹³³. A lei de refração é absoluta, na medida em que explica os efeitos cromáticos que se produzem quando os raios de luz atravessam um meio transparente, e tais efeitos são relativos a ela, assim como comprimento, largura e profundidade são relativos à extensão. Portanto, a natureza da luz é o que há de mais absoluto na cadeia dedutiva e a lei de refração está em relação a ela. Se há alguma proporção contínua entre causas e efeitos, outras proporções podem ser requeridas se colocadas entre coisas mais absolutas que outras, e essas relações só procedem porque existe algo mais absoluto que tudo, isto é, Deus, garantia Metafísica de todas as relações mentais. Pode-se dizer também que toda relação guarda uma proporção contínua, na medida em que há coisas absolutas e relativas em toda relação.

Sabe-se que, nas *Meditações* e nos *Princípios*, Descartes sistematiza os princípios metafísicos das ciências em geral. A ilustração da árvore do conhecimento é algo bastante didático para que se possa entender que as ciências em geral extraem sua seiva da Metafísica, representada pela raiz que sustenta o tronco e os ramos dessa árvore. Mas Descartes, entretanto, produz suas obras científicas antes mesmo de sistematizar a Metafísica. Sendo assim, há uma tendência de defender que a importância dada a esse tema se torna explícita em

¹³² “Certaines choses en effet, à un certain point de vue, sont plus absolues que d’autres, mais, considérées autrement, elles sont plus relatives : [...] ainsi, si nous considérons les individus, l’espèce est quelque chose d’absolu, et si nous considérons le genre, elle est quelque chose de relatif”. Nesta Regra, Descartes estabelece uma teoria das proporções que, segundo Kobayashi, centraliza reflexões sobre a proporção contínua para determinar a progressão geométrica. Para Kobayashi (1993, p.16), a teoria das proporções traz consequências importantes: diferentes espécies de grandeza, a saber, a razão, o cubo, o quadrado, etc., estão circunscritas no mesmo gênero de linhas e superfície [da mesma forma podemos conceber, por exemplo, o comprimento, largura e profundidade como espécies de um mesmo gênero, a extensão]. Mas há também a aplicação em diferentes espécies de cálculos, a multiplicação e divisão, que guardam o mesmo gênero, o da proporção algébrica.

¹³³ No décimo discurso da *Dióptrica*, Descartes cria uma máquina de polir lentes e mostra que a curva anaclástica é a mais adequada para esse projeto, a fim de corrigir os defeitos por elas produzidos. Esse tipo de curva, também denominada de hiperbólica, é o que determina a posição dos raios refratados num único ponto da lente para emergi-los na direção do olho. Com a anaclástica, Descartes determina a distância entre lentes côncavas e convexas das extremidades da luneta, definindo a posição dos raios incidentes e emergentes nas partes interna e externa dessas lentes (DESCARTES, AT, VI, 1998, pp. 211-27).

O mundo, obra capital que mantém uma estrutura teórica bastante hierárquica sustentada por princípios metafísicos.

No capítulo VII de *O mundo* ou do *Tratado da luz*, Descartes faz uma caracterização de um novo mundo regido por leis mecânicas, mas antes define o movimento como natureza da matéria: “[...] sabemos que, entre as qualidades da matéria, supomos que suas partes tenham diversos movimentos desde o início em que foram criadas” (DESCARTES, AT, XI, 1998, p. 37)¹³⁴. A suposição de que o movimento é propriedade essencial da matéria não é suficiente para explicar sua gênese, pois o ato de criação divina coloca nos corpos tal propriedade desde o instante em que foram criados. Além disso, é preciso introduzir princípios *a priori* para explicar matematicamente o processo de modificação da matéria pelo movimento dos corpos em colisão. O movimento é regido por leis, tais como se seguem: 1ª) todo corpo continua sempre num mesmo estado até o momento em que movimento de outros corpos forçam sua mudança – o corpo permanece em repouso no instante da colisão, depois disso, tende ao movimento até que a ação de outro corpo o detenha; 2ª) todo corpo perde parte de seu movimento quando o corpo que o empurra é mais fraco, ou quando é mais forte, aumenta seu movimento – se há colisão entre corpos que se movem, o movimento é determinado pela força dos corpos que se chocam; 3ª) todo corpo que se move tende a continuar seu movimento em linha reta – o movimento retilíneo é instantâneo, pois todo corpo que viaja em linha reta depende do instante em que seu movimento aumenta ou diminui com o choque com outros corpos (*Ibid.*, pp.38-44).

Onde há corpo, há movimento, e se o mundo é composto por diversos corpos, todos eles dependem da ação de suas partes em movimento. Por isto, a aplicação dessas leis é fundamental para explicar o modo pelo qual os corpos sofrem a ação uns dos outros, uma vez que o mundo é um espaço totalmente preenchido por matéria em movimento¹³⁵. Essas leis

¹³⁴ “[...] souvenez-vous qu'entre les qualités de la matière, nous avons supposé que ses parties avaient eu divers mouvements dès le commencement qu'elles ont été créées”.

¹³⁵ A noção cartesiana de espaço rejeita a existência do vazio, pois não há como concebê-lo mesmo se for observado um intervalo entre corpos separados, já que o espaço que é suposto vazio também é preenchido por matéria. No *Tratado da luz*, Descartes diz o seguinte: “Para melhor entender isto [referindo-se à natureza da matéria], sabemos que entre as qualidades da matéria supomos que suas partes tenham diversos movimentos desde o início em que foram criadas; e, além disto, que elas se tocam por todos os lados sem que haja algum vazio entre duas” (DESCARTES, *Ibid.*, p. 37). “Pour mieux entendre ceci, souvenez-vous qu'entre les qualités de la matière, nous avons supposé que ses parties avaient eu divers mouvements dès le commencement qu'elles ont été créées; et outre cela, qu'elles s'entreouchaient toutes de tous côtés, sans qu'il y eût aucun vide entre deux”. Em primeiro lugar, “supor” alguma coisa, no contexto ideológico em que Descartes viveu, significa prudência, pois o temor de sofrer algum tipo de acusação por parte da Igreja o fez, muitas vezes, expor suas ideias com muito cuidado. E por isto que, nesse *Tratado*, Descartes prefere dizer que compôs uma “fábula do mundo”, para evitar esses confrontos ideológicos. Em segundo lugar, a existência do vazio traz duas

estão destinadas a explicar não só a colisão dos corpos em movimento, mas também a explicar a natureza da luz, tal como ela se comporta nos diversos meios que atravessa. Segundo Gaukroger, “[...] as leis do movimento, que explicam e fundamentam as leis de refração e reflexão da luz, justificam fenômenos tais como o arco-íris e parélio, que estão baseados nisto” (GAUKROGER, 1997, p. 256)¹³⁶.

Ao explicar a natureza da luz, no Capítulo XIII do *Tratado da luz*, Descartes faz um exame prévio da ação recíproca do primeiro e segundo elementos, fogo e ar respectivamente. Partindo disto, ele explica que a ação da luz depende da ação do fogo e do ar e nos mostra que este, por ser uma matéria de pouca gravidade, oferece pouca resistência na ocasião da transmissão dos raios luminosos que vêm do Sol.

Numa interessante analogia, Descartes faz, no *Tratado da luz*, uma comparação para ilustrar a força da luz ao viajar em linha reta: “[...] assim como o peso de uma pedra a dispõe [da inclinação de se afastar], não somente de descer completamente reta ao ar livre, mas também de rolar sobre a inclinação da montanha, nesse caso ela não pode descer de outro modo (DESCARTES, XI, AT, 1998, p.89)”¹³⁷. Assim como a luz, que vem do fogo, representa a pedra, ela também vai encontrar menor resistência do ar para viajar em linha reta. Se, por um lado, o ar é uma matéria de pouca gravidade, ela tem menos força para resistir o movimento da luz, pode-se concluir daí que Descartes aplica a segunda lei do movimento para explicar que a luz tem maior força para resistir à ação do ar; por isso perde apenas uma parte de movimento sem, entretanto, ficar impedida de viajar em linha reta, embora a pedra seja um corpo de maior gravidade que a luz. Por outro lado, é possível identificar a aplicação da terceira lei para explicar o movimento retilíneo da luz, que ocorre no instante em que ela encontra uma resistência mediana do ar que atravessa.

Observa-se, então, que há um poder intrínseco no movimento, pois os corpos, segundo o princípio de conservação e criação contínua, derivado da imutabilidade divina, recebem uma quantidade de movimento e repouso, o que permite sua permanência neste ou naquele estado:

consequências importantes para sua Física geométrica: a) a impossibilidade de representá-lo geometricamente, já que a matéria está circunscrita no limite interior e exterior do espaço que ocupa; b) a impossibilidade de identificar, segundo Araújo, matéria e extensão (1990, p. 19).

¹³⁶ “[...] the laws of motion that underpin and explain the laws of refraction and reflection of light, and the accounts of phenomena such as the rainbow and perhelia that are based on these.”

¹³⁷ “[...]ainsi que la pesanteur d'une pierre la dispose, non seulement à descendre tout droit en l'air libre, mais aussi à rouler de travers sur le penchant d'une montagne, en cas qu'elle ne puisse descendre d'autre façon.”

Ora, essas duas regras [referindo-se às duas primeiras leis do movimento] seguem manifestamente dessa única, que Deus é imutável, e que agindo sempre do mesmo modo produz sempre o mesmo efeito. Pois, supondo que colocou certa quantidade de movimento em toda matéria em geral, desde o primeiro instante que a criou, é necessário que a conserve sempre ou não acredito que ele sempre age do mesmo modo. E supondo com isso, desde o primeiro instante, que as diversas partes da matéria que se movimentam se encontram desigualmente dispersas, começam a detê-las ou transferi-las de uma à outra, segundo aquelas que têm a força, é necessário pensar que lhe fazem a continuar sempre a mesma coisa (*Ibid.*, p. 43)¹³⁸.

Disto se conclui que a primeira lei do movimento identifica a força, que não só justifica as duas outras leis, mas as fundamenta sob o princípio da imutabilidade divina que age sempre do mesmo modo. E essa força, por consequência, identifica-se à Deus, num plano metafísico das ideias, embora a matéria se modifique continuamente, mas contém em si mesma esse poder inseparável e justificado pelo princípio de conservação - do repouso ou do movimento, o que permite a persistência da matéria em se manter sempre num mesmo estado.

¹³⁸ “Or est-il que ces deux règles suivent manifestement de cela seul, que Dieu est immuable, et qu'agissant toujours en même sorte, il produit toujours le même effet. Car, supposant qu'il a mis certaine quantité de mouvements dans toute la matière en général, dès le premier instant qu'il l'a créée, il faut avouer qu'il y en conserve toujours autant, où ne pas croire qu'il agisse toujours en même sorte. Et supposant avec cela que dès ce premier instant les diverses parties de la matière, en qui ces mouvements se sont trouvés inégalement dispersés, ont commencé à les retenir, ou à les transférer de l'une à l'autre, selon qu'elles en ont pu avoir la force, il faut nécessairement penser, qu'il leur fait toujours continuer la même chose. Et c'est ce que contiennent ces deux règles”. O conceito de força aperece, na segunda parte dos *Princípios*, de forma mais sistemática que no *Tratado da luz*: “[...] la force dont un corps agit contre un autre corps ou résiste à son action, consiste en cela seul, que chaque chose persiste autant qu'elle peut à demeurer au même état où elle se trouve, conformément à la première loi qui a été exposée ci-dessus. De façon qu'un corps qui est joint à un autre corps, a quelque force pour empêcher qu'il n'en soit séparé; et que, lorsqu'il en est séparé, il a quelque force pour empêcher qu'il ne lui soit joint; et aussi que, lorsqu'il est en repos, il a de la force pour demeurer en ce repos et pour résister à tout ce qui pourrait le faire changer. De même que, lorsqu'il se meut, il a de la force pour continuer de se mouvoir avec la même vitesse et vers le même côté. Mais on doit juger de la quantité de cette force par la grandeur du corps où elle est, et de la superficie selon laquelle ce corps est séparé d'un autre, et aussi par la vitesse du mouvement, et les façons contraires dont plusieurs divers corps se rencontrent ” (DESCARTES, art. 43, IXb, AT, 1998, p.88). “[...] a força da qual um corpo age contra outro corpo ou resiste sua ação consiste apenas em que cada coisa persiste o tanto que pode a permanecer no mesmo estado onde se encontra, conforme a primeira lei que expus acima [a primeira lei do movimento]. De modo que um corpo que está junto de outro tem alguma força para impedir que ele esteja separado; e que, quando está separado, há alguma força para impedir que lhe esteja junto. Desse modo, quando está em repouso, há a força para permanecer em repouso e para resistir tudo o que poderia fazê-lo mudar. Da mesma forma, quando se move, há a força para continuar a se mover com a mesma rapidez e do mesmo lado. Mas se deve julgar a quantidade dessa força pela grandeza do corpo onde ela está e da superfície segundo a qual esse corpo está separado um do outro, e assim, pela rapidez do movimento e as formas contrárias das quais diversos corpos se encontram”. Nota-se que Descartes oferece a proporção pela qual se encontra a razão da força, princípio que permite sua demonstração Matemática. Para Araújo, Gueroult percebe a ambiguidade desse conceito, pois quando falamos que movimento e repouso conservam o mundo, essas forças são causas da conservação; mas se fala que movimento e repouso estão no mundo, essas forças são imanentes porque são causas e efeitos simultaneamente. Disto Gueroult conclui que suas propriedades geométricas revelam apenas seus efeitos porque as forças estão em relação com as variações espaciais no tempo-duração, e não nas variações espaciais dos instantes, o que poderá torná-la geometrizável. (GUEROULT, *Apud in* ARAÚJO, 1990, p. 34.)

No entanto, Descartes fala por suposições sempre que se refere ao movimento dos corpos segundo o princípio de imutabilidade divina. Mas o que realmente quer é mostrar a estrutura do novo mundo por meio de princípios *a priori*, pois a essência da matéria consiste na disposição que ela tem para ser submetida ao escrutínio da razão, para ser reduzida a extensão e seus modos. As leis do movimento são capazes de derivar demonstrações muito exatas da estrutura desse novo mundo, ao contrário do velho, que jamais poderia conceber sua real estrutura com base na tradição Escolástica. Nesse sentido, pode-se dizer que Descartes oferece uma explicação materialista do mundo sob o qual os princípios metafísicos podem sustentar todo conhecimento. No *Tratado da luz*, pode-se observar que essas verdades são eternas porque são como marcas impressas:

Essas verdades segundo as quais Deus nos ensinou que todas as coisas estão dispostas em número, peso e medida, e das quais o conhecimento é tão natural em nossas almas, digo que não saberíamos julgá-las infalíveis quando as concebemos distintamente, nem duvidar que, se Deus criou vários mundos, elas não fossem totalmente verdadeiras neste (DESCARTES, XI, AT, 1998, p. 47)¹³⁹.

Se as verdades eternas são infalíveis, as leis do movimento se justificam por sua auto evidência assim demonstradas na estrutura da Física teórica elaborada no *Tratado da luz*. Essas leis têm o objetivo de demonstrar a natureza da luz, o que, na *Dióptrica*, servirá como base para demonstrar os efeitos que ela produz quando atravessa um meio transparente.

Mostrou-se anteriormente a implicação Metafísica contida no termo absoluto e disto se conclui que, se Descartes não demonstrou geometricamente a aplicação desses princípios em fenômenos visíveis, sobretudo no *Tratado da luz*, ao menos os estabeleceu como princípios absolutos para que a Física pudesse deles se servir para realizar demonstrações *more geométricas*, como é o caso das demonstrações sintéticas fornecidas na *Dióptrica*. Ademais, são esses *Princípios* que formulam o caminho para o qual o duplo modo de demonstrar pode ser executado.

Observa-se, portanto, que o *Tratado da luz* é o lugar onde Descartes buscou demonstrar os primeiros princípios, a saber, as três leis do movimento, como os princípios mais absolutos no domínio da Física, mas a partir da criação e conservação que formulam o

¹³⁹ “Ces vérités, dis-je, suivant lesquelles Dieu même nous a enseigné qu’il avait disposé toutes choses en nombre, en poids, et en mesure ; et dont la connaissance est si naturelle à nos âmes, que nous ne saurions ne les pas juger infaillibles, lorsque nous les concevons distinctement ; ni douter que, si Dieu avait créé plusieurs mondes, elles ne fussent en tout aussi véritables qu’en celui-ci”.

princípio divino como o mais absoluto de todos. Ao estabelecê-los e firmá-los em base Metafísica, Descartes os dispõe segundo as ordens analítica e sintética nos *Princípios* e, como diz Beyssade, “conhecer os efeitos por suas causas e, definitivamente, os efeitos físicos por princípios metafísicos, é ter ‘demonstrações a priori’, para se explicar em termos da Escola” (BEYSSADE, 2001, p. 190)¹⁴⁰.

As leis de movimento, portanto, foi o que consagrou a formulação da Filosofia natural, e Newton, a partir de sua crítica ao conceito de extensão de Descartes, irá formular o fundamento de sua Física, observando, nos fenômenos movimento, a base da elaboração de suas leis físico-mecânicas, ao definir o método experimental como essência da Filosofia. No próximo capítulo, o método, como essência da Filosofia natural, nos trará uma compreensão de como o pensamento científico-filosófico de Newton está estruturado.

¹⁴⁰ “Connaître les effets par leurs causes, et en définitive les effets physiques par leurs principes métaphysiques, c’est, pour s’expliquer en termes de l’École, en avoir, ‘des démonstrations *a priori*’”.

CAPÍTULO 4 - Newton: Filosofia, Física e Metafísica

4.1) O significado da Filosofia newtoniana

A obra newtoniana, diante de características particulares do período que pertenceu, é inegavelmente filosófica, pois nela se desenvolveu a perspectiva de Filosofia natural estabelecida nos *Principia: princípios matemáticos da Filosofia natural* (1686). Aliás, o filósofo natural em sua época é alguém como ele, que se interessa e busca compreender a natureza que o cerca. Embora os *Principia* façam uma abordagem da Matemática como essência da Filosofia natural, assim como afirmado no Prefácio à primeira edição dessa obra, o Newton filósofo também se revela em sua juventude, após ser aceito na Universidade de Cambridge em 1661. Ao escrever sobre Aristóteles, em seu caderno de notas, em 1664 aproximadamente, inicia numa nova seção, *Questiones quaedam philosophicae* – algumas questões filosóficas, onde abandona a autoridade filosófica ao escrever ser amigo de Platão e Aristóteles, mas que a verdade é sua maior amiga (Cf. COHEN, 2002, p.19-20). Em *Questiones*, a percepção de mundo é reinventada a partir de uma nova interpretação filosófica da natureza, que se apresenta especulativamente a partir de seu interesse pela mecânica cartesiana e pelo atomismo. Em seus enunciados, há uma representação de tópicos sobre a conjunção dos corpos, a natureza da matéria, o movimento vórtico dos planetas e seus orbes, a gravidade, a luz, o fluxo e refluxo do mar e sensação, formando um novo programa que exige a experiência como critério essencialmente científico. Como se trata de um conjunto de notas, suas inquietações estão ali colocadas como objeções a Descartes, sem que haja um corpo teórico definido por um lado, mas, por outro, representa toda a gênese do que Newton desenvolveu na ciência moderna.

Se a Matemática é a essência da Filosofia natural, qual será então a essência da Filosofia em si mesma? No Prefácio da primeira edição, Newton não só define o objeto da Filosofia, mas também a coloca como um tipo de saber sobre a natureza, que só se desenvolve a partir de princípios matemáticos, a partir dos quais são possíveis demonstrar fenômenos naturais:

Mas examinando a Filosofia e não as artes, e escrevendo não sobre as potências manuais, mas naturais, considero principalmente aquelas coisas que se referem à gravidade, leveza, força elástica, resistência dos

fluidos e forças desse tipo, sejam atrativas ou repulsivas; e, portanto, ofereço este trabalho como os princípios matemáticos da Filosofia, pois toda a essência da Filosofia parece constituir nisso – a partir dos fenômenos de movimento, investigar as forças da natureza e, então, dessas forças demonstrar os outros fenômenos; e para esse fim dirigem-se as proposições gerais no primeiro e no segundo Livros. No terceiro Livro, dou um exemplo disso na explicação do Sistema do Mundo; pois, pelas proposições matematicamente demonstradas nos livros anteriores, no terceiro derivo dos fenômenos celestes as forças da gravidade com as quais corpos tendem para o Sol e para os vários planetas. Então, dessas forças, por outras proposições que também são matemáticas, deduzo os movimentos dos planetas, dos cometas, da Lua e do mar (NEWTON, *Principia* I, 1974, p. xvii-xviii)¹⁴¹.

Ao identificar a natureza como objeto da Filosofia, Newton também delimita sua essência, qual seja a de observar os “fenômenos do movimento” para “investigar as forças da natureza” e assim reduzir o que foi observado às proposições que permitam a “demonstração” de outros fenômenos, de acordo com o que se descreve sobre a estrutura dos três livros. Observa-se que os “fenômenos do movimento” e “as forças da natureza” são temas ou objetos centrais de uma ciência empírica que exige rigor para “investigar” e proceder a “demonstração” desses fenômenos. Entretanto, análise e síntese, conforme a declaração de Newton na Questão 31 da *Óptica* (1704), são procedimentos usuais de um método experimental com o qual se desenvolve também o método dedutivo. Portanto, a essência da Filosofia necessita ser formulada a partir de um método experimental para assim poder se apropriar da natureza e conhecê-la a partir de suas demonstrações.

No entanto, falar de método em Newton, embora seja fundamental para a compreensão de sua Filosofia, é algo que exige um estudo cuidadoso, uma vez que, diferentemente de Descartes, ele não nos deixa uma obra para tratar do assunto, cabendo, não neste capítulo, mas posteriormente, um exame minucioso do que Newton compreende ou executa no método de análise e síntese, especialmente na *Óptica*, que é a obra onde ele nos dá algumas pistas de

¹⁴¹ “But I consider philosophy rather than arts and write not concerning manual but natural powers, and consider chiefly those things which relate to gravity, levity, elastic force, the resistance of fluids, and the like forces, whether attractive or impulsive; and therefore I offer this work as the mathematical principles of philosophy, for the whole burden of philosophy seems to consist in this—from the phenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena; and to this end the general propositions in the first and second Books are directed. In the third Book I give an example of this in the explication of the System of the World; for by the propositions mathematically demonstrated in the former Books, in the third I derive from the celestial phenomena the forces of gravity with which bodies tend to the sun and the several planets. Then from these forces, by other propositions which are also mathematical, I deduce the motions of the planets, the comets, the moon, and the sea.”

como procedeu na indução e dedução. Por ora, cabe aqui evocar o significado e o lugar central do método newtoniano, em sua forma de conceber a Filosofia.

Também, na Questão 31 da *Óptica* de 1706, Newton faz algumas revelações do modo como ele define a Filosofia na investigação da natureza, onde análise e síntese se mostram como procedimentos fundamentais para o conhecimento dos fenômenos naturais:

Como na Matemática, também na Filosofia natural a investigação das coisas difíceis pelo método da análise deve sempre preceder o método da composição. Essa análise consiste em fazer experiências e observações, em tirar conclusões gerais delas por indução e em não admitir objeções contra as conclusões exceto aquelas que decorrem das experiências ou de algumas outras verdades. Pois as hipóteses não devem ser consideradas na Filosofia experimental. E, embora a argumentação pela indução a partir de experiências e observações não seja a demonstração de conclusões gerais, ainda assim é o melhor caminho de argumentação que a natureza das coisas admite, e pode ser considerada tanto mais forte quanto mais geral é a indução. E se aparece nenhuma exceção dos fenômenos, a conclusão pode ser afirmada em termos gerais. Mas se depois, em qualquer época, aparecer qualquer exceção relativamente às experiências, ela poderá então começar a ser afirmada com as exceções que aparecem. Por esse modo de análise podemos passar dos compostos aos ingredientes, e dos movimentos às forças que os produzem; e, em geral, dos efeitos às causas, e das causas particulares às causas mais gerais, até que o argumento termine na causa mais geral. Tal é o método de análise; e a síntese consiste em admitir as causas descobertas e estabelecidas como princípios, em explicar por elas os fenômenos que delas procedem e em provar as explicações (NEWTON, *Optics*, 1993, p. 543)¹⁴².

Por analogia, Newton compara o método da Filosofia natural com o método matemático para assim defini-lo em duas etapas: análise por indução e síntese por

¹⁴² “As in mathematics, so in natural philosophy, the investigation of difficult things by the method of analysis, ought ever to precede the method of composition. This analysis consists in making experiments and observations, and in drawing general conclusions from them by induction, and admitting of no objections against the conclusions but such as are taken from experiments, or other certain truths. For hypotheses are not to be regarded in experimental philosophy. And although the arguing from experiments and observations by induction be no demonstration of general conclusions, yet it is the best way of arguing which the nature of things admits of, and may be looked upon as so much the stronger, by how much the induction is more general. And if no exception occur from phenomena, the conclusion may be pronounced generally. But if at any time afterwards any exception shall occur from experiments, it may then begin to be pronounced with such exceptions as occur. By this way of analysis we may proceed from compounds to ingredients, and from motions to the forces producing them; and, in general, from effects to their causes, and from particular causes to more general ones, till the argument end in the most general. This is method of analysis, and the synthesis consists in assuming the causes discovered, and established as principles, and by them explaining the phenomena proceeding from them, and proving the explanations.” As Questões de 1 a 16 apareceram na primeira edição em inglês, de 1704; as Questões de 25 a 31 aparecem na primeira edição em latim, de 1706; já as Questões de 17 a 24 aparecem na segunda edição em inglês, de 1717.

composição. Ademais, sendo análise e síntese procedimentos usuais da Matemática, elas expressam também um tipo de linguagem especial e universal que servem para interpretar o mundo e fundar sua Filosofia natural. Com isso, determina que o papel da análise seja introduzir procedimentos experimentais ou indutivos capazes de enunciar uma conclusão geral, sem que a própria experiência seja capaz de refutar. Caso isto ocorra, a conclusão geral deverá agregar a exceção experimental para dar início à próxima etapa, a síntese por composição. Este excerto da Questão 31 nos mostra a importância dessas etapas no processo de construção das ciências naturais, sobretudo porque os *Principia* são o resultado dos procedimentos que Newton empregou não só para orientar os procedimentos experimentais, mas para demonstrá-los matematicamente. Chamo atenção aqui para o modo como Newton concebe esses princípios, utilizando a experiência como um critério de conhecimento, que, pelo uso da análise, parte dos efeitos às causas e assim chega à dedução de um princípio geral, ao contrário do que fazia Descartes ao enunciar princípios absolutos. O excerto nos faz pensar a experiência como o tipo de procedimento mais adequado para se investigar a natureza, caminho para o qual a descoberta das causas permite deduzir princípios gerais e com os quais se aplicam à outras circunstâncias.

Entretanto, temos apenas algumas pistas para pensarmos e compreendermos como Newton pratica o método efetivamente. Sabemos que a essência da Filosofia natural está na Matemática, e suas poucas declarações sobre o método de análise e síntese nos deixa pensativos:

Na realidade, em sua concepção de método, Newton nunca se elevou a nenhum grau de generalidade maior do que revelado por sua própria prática: sempre fala de *seu* método. Talvez isto seja o que devemos esperar, porém, do ponto de vista filosófico, é algo que nos deixa insatisfeitos (BURTT, 1960, p. 229; Grifo do autor)¹⁴³.

O que encontramos, até o momento em Newton, não é suficiente para esclarecer o que é o método do ponto de vista filosófico, pois os *Principia* e a *Óptica* são tratados onde ele apenas executa o método, sem que com isso nos diga adequadamente o que é o método; ao contrário de Descartes que, em seu *Discurso* conta por que o pensou e nas *Regras para a direção do espírito* nos ensina a executá-lo. Por isso, a questão do método será dedicada e desenvolvida em capítulo posterior, que buscará esclarecer quais são os passos percorridos

¹⁴³ “En realidad, en su concepción del método Newton nunca de elevó a ningún grado de generalidad mayor del revelado por su propia práctica: siempre habla de *su* método. Quizá esto era lo que debía esperarse, pero desde el punto de vista filosófico es algo que nos deja insatisfechos”.

por Newton ao executar o método de análise e síntese na *Óptica* e assim identificar as dificuldades de adequar a experiência à Matemática nos fenômenos naturais, tendo em vista que há um problema filosófico essencial na Física newtoniana, que é reduzir os fenômenos físicos aos princípios matemáticos.

Segundo Burt (1960, p. 236-237), Newton dá mais importância às propriedades das coisas, às leis experimentais, e o que não for obtido pela experiência é abandonado, afirmando a superioridade do método experimental nas ciências naturais. Certamente, ao comparar a Filosofia natural com a Matemática, Newton não quer apenas uma linguagem universal para traduzir os fenômenos naturais, mas quer também se apropriar de um método de demonstração que possa representar a mecânica e a Óptica, dada a primazia ao método experimental.

Adotando o experimento como critério científico, a Matemática desempenha papel importante na solução de problemas sensíveis. Mas há três classes de indivíduos que se interessam por Filosofia natural, dentre as quais: a) os que atribuem qualidades ocultas aos fenômenos particulares, os peripatéticos especialmente; b) os que admitem hipóteses como princípios primeiros; c) os que dão primazia à experiência, classe que Cotes defende no Prefácio à segunda edição dos *Principia*, e se coloca a favor desse novo programa de ciência que está em relação com a exigência que a própria natureza estabeleceu:

Restam então a terceira classe que adota a Filosofia experimental. Estes, na verdade, derivam as causas de todas as coisas a partir dos princípios mais simples possíveis; mas, então, não aceitam nada como princípio, a não ser que tenha sido provado por fenômenos. Não constroem nenhuma hipótese, nem as admitem como Filosofia, a não ser como questões cuja verdade pode ser discutida. Procedem, portanto, em um método duplo: sintético e analítico (NEWTON, *Principia*, 1974, p. xx-xxi)¹⁴⁴.

Em princípio, a rejeição a hipóteses é uma característica daqueles indivíduos que adotam a Filosofia experimental como critério de ciência empírica, em especial, o próprio Newton, que é para quem Cotes se dirige em defesa do duplo método sintético e analítico. Apesar de não dizer exatamente o que isto significa, prossegue em sua defesa:

¹⁴⁴ “There is left then the third class, which possess experimental philosophy. These indeed derive the causes of all things from the most simple principles possible; but then they assume nothing as a principle, that is not proved by phenomena. They frame no hypotheses, nor receive them into philosophy otherwise than as questions whose truth may be disputed. They proceed therefore in a twofold method, synthetical and analytical.”

A partir de alguns fenômenos selecionados, deduzem, por análise, as forças da Natureza e as mais simples leis de forças, e daí, por síntese, mostram a constituição do resto. Esta é a melhor forma de filosofar, que nosso renomado autor coerentemente preferiu abraçar em detrimento do resto, e imaginou merecer ser cultivada e adornada pelos seus excelentes esforços (*Ibid.*, p. xxi)¹⁴⁵.

Apesar de Cotes defender a essencialidade da Filosofia, qual seja a de proceder pelo duplo método de análise e síntese, aqui ele não chega a expressar adequadamente o significado desse método. Não sabemos exatamente o que significa, mas a síntese, assumindo a tarefa de explicar e provar os fenômenos, também procede com outros experimentos a partir dos princípios estabelecidos na análise, e sem análise não é possível proceder a síntese. Até o momento, esse duplo método aqui defendido não é esclarecido o bastante porque, além de sua prática científica, precisamos esclarecê-lo no modo como aparece no conjunto de sua obra.

Segundo Burtt, o critério último da ciência newtoniana é mais empírico que matemático, pois alguns problemas não se adequam a linguagem Matemática:

Não é muito dizer que para Newton a Matemática era somente um método para a solução de problemas introduzidos pela experiência sensível. Tinha pouco interesse nos raciocínios matemáticos que não eram aplicáveis aos problemas físicos; constituíam essencialmente um instrumento útil para a redução dos fenômenos físicos (1960, p. 235)¹⁴⁶.

Não cabe ao método empírico introduzir hipóteses, pois elas são discutíveis. Mas o esforço de Newton em dar tratamento matemático aos fenômenos empíricos nos coloca na condição de interrogar o significado das hipóteses em sua Filosofia natural, a partir da célebre frase *hypotheses non fingo*, do Escólio Geral do Livro III dos *Principia*:

Mas ainda não fui capaz de descobrir a causa da gravidade a partir dos fenômenos, e *não construo hipóteses*. Pois tudo aquilo que não é deduzido a partir dos fenômenos é para ser chamado de hipótese. E as hipóteses, quer metafísicas ou físicas, quer de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na Filosofia experimental. Nesta Filosofia as proposições particulares são inferidas a partir dos fenômenos, sendo

¹⁴⁵ “From some select phenomena they deduce by analysis the forces of Nature and the more simple laws of forces; and from thence by synthesis show the constitution of the rest. This is that incomparably best way of philosophizing, which our renowned author most justly embraced in preference to the rest, and thought alone worthy to be cultivated and adorned by his excellent labors.”

¹⁴⁶ “[...] No é mucho decir que para Newton la Matemática era solamente un método para la solución de problemas que planteaba la experiencia sensible. Tenía poco interés en los razonamientos matemáticos que no eran aplicables a los problemas físicos; constituían esencialmente un instrumento útil para la reducción de los fenómenos físicos.”

depois generalizadas pela indução (NEWTON, 1973, p. 547; grifo meu)¹⁴⁷.

Se as hipóteses não se encaixam na Filosofia natural, elas se adequam muito bem à Matemática, quando se trata de assuntos mecânicos, e também à Metafísica, quando se trata de discutir certas qualidades inacessíveis aos sentidos, como a natureza do éter, por exemplo. E quando as hipóteses são deduzidas de experimentos? O enunciado *Hypotheses non fingo* não é categórico, pois Newton, apesar de defender o método experimental na Filosofia Natural, certamente fez uso de hipóteses quando introduziu a ideia de força para explicar a atração e repulsão do raio luminoso na superfície transparente, como é o caso da Experiência 15 da *Óptica*, onde ele deduz a hipótese da força a partir do experimento do sol, penetrando um quarto escuro através de um orifício numa folha papel, por onde sai o raio luminoso, atinge dois prismas, na posição cruzada para produzir uma imagem oblonga colorida pela refração¹⁴⁸; e também quando elaborou sua teoria do éter, que é uma propriedade sutil e impossível de ser submetida à prova experimental, em *De gravitatione*¹⁴⁹:

Mas, se não houver dúvida, deve-se observar o que foi dito anteriormente, que existem espaços vazios no mundo natural. Pois, se o éter fosse um fluido corpóreo inteiramente sem poros vazios, por mais sutis que suas partes fossem feitas por divisão, seria tão densa como qualquer outro fluido e cederia ao movimento dos corpos, através dele, sem menos lentidão; de fato, com um muito maior, se o projétil for poroso, porque então o éter entraria em seus poros internos, e encontraria e resistiria não apenas a totalidade de sua superfície externa, mas também as superfícies de todas as partes internas. Uma vez que a resistência do éter é, pelo contrário, tão pequena quando comparada com a resistência do mercúrio a mais de dez ou menos de cem mil vezes, há mais razões para pensar que, de longe, a maior parte do espaço etéreo é vazio, espalhado entre partículas etéreas. O mesmo pode ser conjecturado a partir das várias gravidades desses fluidos, para a descida dos corpos pesados e as oscilações dos pêndulos mostram que

¹⁴⁷ “But hitherto I have not been able to discover the cause of those properties of gravity from phenomena, and I frame no hypotheses; for whatever is not deduced from the phenomena is to be called an hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, whether of occult qualities or mechanical, have no place in experimental philosophy. In this philosophy particular propositions are inferred from the phenomena, and afterwards rendered general by induction. (Grifo meu para designar a tradução de *hypotheses non fingo*)”.

¹⁴⁸ Este assunto será discutido no Capítulo 6.

¹⁴⁹ Este manuscrito deve ter sido escrito entre os anos de 1664 a 1668 para refutar a teoria da matéria e do movimento vórtico de Descartes. Nele podemos ver o Newton metafísico desenvolvendo uma distinção importante entre espaço e lugar, corpo e espaço, ao fazer objeção à ideia de extensão cartesiana, discutindo uma teoria do éter ao rejeitar a teoria do vórtice e introduzindo uma teoria da substância ao desenvolver o conceito de vazio. Entretanto, aqui será discutida a utilização das hipóteses, em Newton, e sua teoria do éter é um bom exemplo desse uso. O problema do éter que ele essencialmente levanta diz respeito à ideia de extensão cartesiana, pois, como substância material, atribui ao éter a propriedade do movimento sem razão, uma vez que os conceitos de lugar e espaço são fundamentais para a compreensão do movimento e da existência do espaço vazio. O Newton metafísico, porém, será discutido na seção 4.2 deste capítulo.

estas são proporcionais as suas densidades, ou como as quantidades de matéria contidas em espaços iguais (NEWTON, *De gravitatione*, HH, 1978, p. 147)¹⁵⁰.

Newton, logo no início de *De gravitatione*, nos mostra o quão enganado está Descartes em conceber a extensão da matéria sem estabelecer a distinção real entre espaço e lugar e ao considerar o universo como pleno, além de desenvolver equivocadamente uma teoria do éter como um fluido denso de movimento vórtico. Na citação acima, ele tenta nos mostrar que o éter, como matéria, assim como foi concebido por Descartes, traz implicações ontológicas derivativas da noção de extensão, sendo consideráveis trazer à luz algumas revelações importantes, a saber, de que o vazio rejeitado por Descartes é uma propriedade do espaço e sem ele o éter não se propaga nem atravessa os poros dos corpos mais densos, para assim produzir algum tipo de movimento. Mais do que isso, o vazio é também uma das propriedades do éter e isto possibilita a ação de movimento ou resistência, dependendo da gravidade dos corpos. Deve-se considerar que: “Os modelos de ação etérea de Newton - sejam materiais, elásticos, alquímicos ou elétricos - são outras tentativas de compreender a mediação ativa que existe entre o Deus elevado e a natureza. A noção de mediação ativa é importante”¹⁵¹ (McGUIRE, 1996, p. xii). Como o éter é inacessível aos sentidos, a hipótese é de que ele é um meio fluido capaz de penetrar os poros de outros corpos, oferecendo pouca resistência, se comparado ao mercúrio, produzindo movimento desses corpos e assumindo, assim, uma função de explicar a propagação do movimento, sob ação a mediação ativa de Deus¹⁵².

Há também, nos *Principia*, o uso de hipóteses, a exemplo disso, o enunciado da Proposição IV do Livro II, que mostra como Newton se apropria de seu objeto, a resistência: “Supondo ser uniforme a força da gravidade em qualquer meio homogêneo, e para tender

¹⁵⁰ “But lest any doubt remain, it should be observed from what was said earlier that there are empty spaces in the natural world. For if the aether were a corporeal fluid entirely without vacuous pores, however subtle its parts are made by division, it would be as dense as any other fluid, and it would yield to the motion of bodies through it with no less sluggishness; indeed with a much greater, if the projectile should be porous, because then the aether would enter its internal pores, and encounter and resist not only the whole of its external surface but also the surfaces of all the internal parts. Since the resistance of the aether is on the contrary so small when compared with the resistance of quicksilver as to be over ten or a hundred thousand times less, there is all the more reason for thinking that by far the largest part of the aetherial space is void, scattered between the aetherial particles. The same may also be conjectured from the various gravities of these fluids, for the descent of heavy bodies and the oscillations of pendulums show that these are in proportion to their densities, or as the quantities of matter contained in equal spaces.”

¹⁵¹ “Newton's models of aethereal action - whether material, elastic, alchemical, or electrical - are further attempts to comprehend the active mediation that exists between the high God and nature. The notion of active mediation is important”.

¹⁵² A teoria do éter newtoniana é Metafísica. O mais importante nesta seção é pensá-la que, como hipótese, é uma questão filosófica, e que por isso não é submetida a experimentos, se fosse, tornar-se-ia princípio por resistir aos testes experimentais.

perpendicularmente ao plano do horizonte: definir o movimento de um projétil neste meio que sofre uma resistência proporcional à sua velocidade” (1974, p. 239)¹⁵³. Aqui se tem um tipo de hipótese que é submetida ao tratamento matemático e à “demonstração” empírica quando o objeto de investigação é acessível aos sentidos, ao contrário do éter, pois os fatos experimentais têm primazia na Filosofia Natural. Entretanto, ao ser essa hipótese submetida à demonstração experimental, será considerada, em seu Escólio, mais Matemática do que Física porque os fatos experimentais entram em conflito com ela (*Ibid.*, p. 244)¹⁵⁴.

É importante observar que a hipótese da resistência foi utilizada como um procedimento válido no método experimental de Newton porque não só é acessível aos sentidos, mas porque também há nela a possibilidade de não entrar em conflito com os fatos experimentais. O que Newton quer dizer com o enunciado *hypotheses non fingo* é que, na Filosofia Natural, não há espaço para hipóteses inacessíveis aos sentidos ou à verificação experimental, embora na Metafísica e na Matemática elas sejam aceitas sem a exigência de demonstração empírica.

Deve-se entender, no momento, é que quando se fala de Filosofia, em Newton, fala-se especialmente sobre aquilo que ele entende por Filosofia Natural, quando se apropria da natureza como seu objeto, mas contando com uma essência que consiste no uso de procedimentos matemáticos e empíricos, com os quais o método científico se constitui como fundamental para o desenvolvimento da ciência empírica.

4.2) O desenvolvimento da Metafísica newtoniana

A delimitação do objeto da Filosofia em Newton, que é a natureza, nos mostra que a Física, como ciência experimental, deve se apropriar da experiência sensível, mas o método por ela requerido vai possibilitar a interpretação Matemática dos fenômenos físicos para deduzir outros. Aquilo que não é acessível aos sentidos, entretanto, está além do domínio da Filosofia Natural e compete então à Metafísica e à Matemática desenvolver um tipo de saber que não necessite de demonstração experimental, embora a Matemática seja útil para a demonstração dos fenômenos naturais. Newton, então, se esforça para desenvolver uma

¹⁵³ “Supposing the force of gravity in any homogeneous medium to be uniform, and to tend perpendicularly to the plane of horizon: to define the motion of a projectile there in, which suffers resistance proportional to its velocity.”

¹⁵⁴ Assume-se aqui a literalidade do que Newton diz em seu Escólio, porém, o problema da demonstração será tratado no Capítulo 6.

concepção de ciência experimental que exija procedimentos experimentais, em princípio, sem os quais a Filosofia Natural fique reduzida a especulações metafísicas.

Desse modo, ver-se-á o que Newton pensa em Metafísica, sobretudo quando desenvolve sua teoria da substância, em *De gravitatione*, com o objetivo de refutar a teoria da matéria e do movimento vórtico de Descartes, e vai além ao se ocupar de uma Metafísica teológica, com a qual a substância de Deus se torna acessível física e metafisicamente através de um dos seus atributos, a extensão. Segundo Gabbey (2002, p. 331-332), o Escólio Geral dos *Principia* parece ser uma mudança de perspectiva em relação à substância de Deus, a discutida em *De gravitatione*, que por nós é desconhecida em razão de só se poder conhecer seus atributos de ordem natural. Mas este conhecimento metafísico até então não fazia parte da Filosofia Natural quando Newton a definiu no Prefácio à primeira edição dos *Principia*. Tanto é que ele mesmo, em *De gravitatione* (HH, 1978, p. 121-122), separa a Filosofia Natural da Metafísica:

É apropriado tratar a ciência da gravidade e do equilíbrio de corpos fluidos e sólidos em fluidos por dois métodos. Na medida em que pertencem às ciências matemáticas, é razoável que eu o abstraia amplamente de considerações físicas. E por esta razão, me comprometo em demonstrar suas proposições individuais a partir de princípios abstratos, suficientemente conhecidos estrita e geometricamente para o estudante. Uma vez que esta doutrina pode ser julgada como algo semelhante à Filosofia natural, na medida em que pode ser aplicada para deixar claro muitos dos fenômenos da Filosofia natural e, além disso, que a sua utilidade pode ser particularmente evidente e a certeza de seus princípios talvez tenham sido confirmados, não devo ser relutante em ilustrar as proposições em abundância também por experimentos, de modo que esse método de discussão mais livre, disposto no escólio, não pode ser confundido com o primeiro que é tratado em Lemas, proposições e corolários. Os fundamentos a partir dos quais esta ciência pode ser demonstrada são definições de certas palavras; ou axiomas e postulados por nenhum negados. E destes eu trato diretamente¹⁵⁵.

¹⁵⁵ “It is proper to treat the science of gravity and of the equilibrium of fluid and solid bodies in fluids by two methods. To the extent that it appertains to the mathematical sciences, it is reasonable that I largely abstract it from physical considerations. And for this reason I have undertaken to demonstrate its individual propositions from abstract principles, sufficiently well known to the student, strictly and geometrically. Since this doctrine may be judged to be somewhat akin to natural philosophy, in so far as it may be applied to making clear many of the phenomena of natural philosophy, and in order, moreover, that its usefulness may be particularly apparent and the certainty of its principles perhaps confirmed, I shall not be reluctant to illustrate the propositions abundantly from experiments as well, in such a way, however, that this freer method of discussion, disposed in scholia, may not be confused with the former which is treated in Lemmas, propositions and corollaries. The foundations from which this science may be demonstrated are either definitions of certain words; or axioms and postulates denied by none. And of these I treat directly.”

É importante observar que para refutar Descartes, Newton necessita desenvolver uma teoria da gravidade e do equilíbrio dos corpos fluidos e sólidos em fluidos, e, apesar de não descartar a possibilidade de realizar experimentos que possam comprovar sua teoria, nesse manuscrito apenas realiza demonstrações essencialmente matemáticas. É apropriado tratar desse tema pelo duplo método, isto é, pela análise e síntese, indutivo e demonstrativo, respectivamente¹⁵⁶. O significado desse método, porém, não é um conceito que depende diretamente de uma teoria da substância. Há, portanto, um esforço de se pensar um método que possa dar certeza geométrica à Filosofia Natural (GUICCIARDINI, 2009, p. 319). Dessa maneira, Newton prefere adotar o tratamento matemático já que por ele o tema abordado é mais facilmente abstraído. Logo, Filosofia Natural se torna uma ciência empírica, diferente da Metafísica formulada nesse manuscrito.

Veja então que no Prefácio à primeira edição dos *Principia*, Newton mostra qual é o propósito da Filosofia Natural, conforme o que foi discutido na seção anterior, mas, no Escólio Geral da segunda edição, se introduz uma Metafísica teológica sob o seguinte argumento: “E assim, muito do que concerne a Deus, para falar sobre ele a partir das aparências das coisas, pertence certamente à Filosofia Natural” (NEWTON, *Principia* III, 1973, p.546)¹⁵⁷. Como se sabe que esta obra passou por várias edições, a primeira, em 1686, a segunda, em 1713, que incluiu o Prefácio de Cotes, a terceira, em 1726, há uma significativa modificação na segunda, quando Newton inclui o Escólio Geral. Mas seu objetivo é responder às críticas dos cartesianos, rejeitar a teoria dos vórtices, provar a existência de Deus a partir dos fenômenos naturais e negar que ele atribui alguma causa à gravidade com a determinante exclamação *hypotheses non fingo*. (COHEN, 1999, p. 274-275). No Escólio Geral, então, Deus faz parte da Filosofia Natural, o que legitima a discussão sobre Deus a partir da natureza. Assim, percebe-se uma distância significativa do que ele afirmara na primeira edição dos *Principia*, quando determina que o objeto da Filosofia Natural seja terminantemente experimental, o que, portanto, torna sua posição surpreendente no Escólio Geral. Tanto nos *Principia* quanto na *Óptica* não se tem declarações suficientes para esclarecer, a contento, o papel da Metafísica na Física, pois nessas obras se encontra uma defesa irreduzível do método empírico sem que se estabeleça a função Metafísica em sua prática científica.

¹⁵⁶ Indução e demonstração são etapas do método que correspondem à análise e síntese, assim como Newton as denomina na Questão 31 da *Opticks*; no entanto, suas definições são um tanto problemáticas, mas isso só será discutido no Capítulo 6, onde se examina o modo como essas etapas são cumpridas na *Optics*.

¹⁵⁷ “And thus much concerning God; to discourse of whom from the appearances of things, does certainly belong to Natural Philosophy.”

Em *De gravitatione*, que antecedeu os *Principia* e a *Óptica*, apesar de não incluir uma discussão sobre Deus, como objeto da Filosofia Natural, apresenta uma teoria das substâncias que nos ajuda a elucidar alguns aspectos metafísicos dessa Filosofia, concebida como ciência experimental, à luz dos atributos naturais de Deus, para trazer a nós a possibilidade de compreender a relação existente entre Física e Metafísica em Newton.

Alguns desses aspectos metafísicos podem ser discutidos a partir da crítica à Metafísica de Descartes, que determina a extensão como substância, mostrando que Newton tem habilidade suficiente para discutir o assunto. Portanto, as quatro primeiras definições, em *De gravitatione*, são importantes:

Os termos *quantidade*, *duração* e *espaço* são muito conhecidos por serem susceptíveis de definição por outras palavras.

Def. 1. O lugar é uma parte do espaço que algo preenche uniformemente.

Def. 2. O corpo é aquele que enche o lugar.

Def. 3. O restante permanece no mesmo local.

Def. 4. O movimento é uma mudança de lugar.

Nota. Eu disse que um corpo preenche o lugar, isto é, ele o enche completamente, o que exclui totalmente outras coisas do mesmo tipo ou de outros corpos, como se fosse um ser impenetrável. No entanto, pode-se dizer que seja parte do espaço em que uma coisa é distribuída uniformemente; mas como somente os corpos são considerados aqui e não penetráveis, eu prefiro definir [lugar] como parte do espaço que as coisas preenchem (NEWTON, HH, 1978, p. 122; grifo do autor)¹⁵⁸.

Tem-se então a concepção de espaço para assim distingui-la da identificação cartesiana de corpo e extensão. Na medida em que a extensão é uma das propriedades do corpo, e que o corpo é uma quantidade de extensão, este viaja no espaço quando está em movimento, carregando consigo o lugar, que é apenas a parte do espaço que o corpo ocupa. O lugar é uma propriedade do corpo e do espaço, mas este se estende ao infinito, como será visto mais adiante. Ademais, a distinção entre espaço e corpo, de acordo com Stein (2002, p. 264; grifo do autor), permite Newton “[...] apresentar sua própria concepção da natureza do espaço (e de tempo, com menos elaboração); finalmente – e com maior originalidade – apresentar sua concepção da natureza do *corpo*, como está relacionado e distinto do

¹⁵⁸ “The terms *quantity*, *duration* and *space* are too well known to be susceptible of definition by other words. Def 1. Place is a part of space which something fills evenly. Def. 2. Body is that which fills place. Def 3. Rest is remaining in the same place. Def. 4. Motion is change of place. *Note.* I said that a body fills place, that is, it so completely fills it that it wholly excludes other things of the same kind or other bodies, as if it were an impenetrable being. Place could be said however to be a part of space in which a thing is evenly distributed; but as only bodies are here considered and not penetrable things, I have preferred to define [place] as the part of space that things fill.”

espaço”¹⁵⁹. Esta conclusão parte da definição de corpo, não como objeto físico, mas como objeto móvel, extenso e impenetrável, propriedades objetivas e necessárias ao movimento local, abstraído de suas qualidades sensíveis (HH, 1978, p. 122). O corpo ocupa um lugar, que é apenas uma das partes do espaço, mas não é espaço. Pois, no movimento local, o lugar se desloca junto com o corpo, o espaço não, e se o movimento do corpo está em relação com a quantidade de duração, que se mede num determinado intervalo de tempo, também está em relação com a ordem de situação que esse mesmo corpo está no espaço¹⁶⁰. Como disse logo acima, a extensão é uma das propriedades do corpo, mas Newton não introduz, na extensão, o conceito de substância ou acidente:

Não é substância, por um lado, porque não é absoluta em si, mas é como se fosse um efeito emanativo de Deus ou uma disposição de todo ser; por outro lado, porque não está entre as disposições apropriadas que denotam substância, a saber, ações, como pensamentos na mente e movimentos do corpo. Pois, embora os filósofos não definissem a substância como uma entidade que possa agir sobre as coisas, todavia entende tacitamente isso de substância, como segue do fato de que prontamente permitiriam que a extensão fosse substância da maneira do corpo, se fosse somente capaz de se mover e de compartilhar das ações do corpo. [...] podemos conceber claramente a extensão existente sem qualquer indivíduo, como quando podemos imaginar espaços fora do mundo ou lugares vazios de corpo, e acreditamos existir [extensão] sempre que imaginarmos que não há corpos, e não podemos acreditar que isso pareceria com o corpo se Deus aniquilasse um corpo, segue que [a extensão] não existe como um acidente inerente a qualquer indivíduo (*Ibid*, p. 132)¹⁶¹.

¹⁵⁹ “[...] to present his own conception of the nature of space (and, with less elaboration, of time); finally – and with greatest originality – to present his conception of the nature of *body* – how it is related to, and how distinguished from, space.”

¹⁶⁰ O lugar é uma das propriedades do corpo e por isto se desloca com ele e possibilita o movimento. Como o movimento se dá numa ordem de sucessão e situação, ou seja, no tempo e espaço respectivamente, este lugar, portanto, é relativo. Por ora, a discussão sobre lugar serve apenas para nos situar no momento metafísico que precede as elaborações mais avançadas da Filosofia Natural dos *Principia*, e, na seção 4.3 será feita uma abordagem mais apropriada dos conceitos de espaço, tempo e movimento sobre os quais a Filosofia Natural está fundada.

¹⁶¹ “But by no means, for it has its own manner of existence which fits neither substances nor accidents. It is not substance; on the one hand, because it is not absolute in itself, but is as it were an emanent effect of God, or a disposition of all being; on the other hand, because it is not among the proper dispositions that denote substance, namely actions, such as thoughts in the mind and motions in body. For although philosophers do not define substance as an entity that can act upon things, yet all tacitly understand this of substances, as follows from the fact that they would readily allow extension to be substance in the manner of body if only it were capable of motion and of sharing in the actions of body. [...] we can clearly conceive extension existing without any subject, as when we may imagine spaces outside the world or places empty of body, and we believe [extension] to exist wherever we imagine there are no bodies, and we cannot believe that it would perish with the body if God should annihilate a body, it follows that [extension] does not exist as an accident inherent in some subject. And hence it is not an accident.”

Nesse caso, a extensão não pode ser substância porque não é em si mesma um critério de ação, isto é, não pode ser causa do corpo nem de seu movimento, ao contrário do que Descartes estabeleceu antes sobre o conceito de substância extensa, que explica o movimento como um de seus modos. Aliás, essa crítica à extensão como substância tem origem a partir da análise de Newton sobre os *Princípios II* de Descartes, no art. 10:

O espaço, ou o lugar interior, e o corpo que está dentro desse espaço, são apenas diferentes por nosso pensamento. Pois, de fato, a mesma extensão em comprimento, largura e profundidade, que constitui o espaço, constitui o corpo; e a diferença que está entre eles consiste apenas naquilo que atribuímos ao corpo uma extensão particular, que concebemos mudar de lugar com ele sempre, e o que quer que seja transportado, e que atribuímos ao espaço tão geral e tão vago, que depois de ter removido o corpo que o ocupou por um certo espaço, não pensamos que também transpusemos a extensão desse espaço, porque nos parece que a mesma extensão permanece sempre, enquanto é do mesmo tamanho, da mesma figura, e que não mudou de situação em relação aos corpos externos pelos quais a determinamos (AT, IX, art. 10, 1998, p. 68): ¹⁶²”.

Vejamos então que Descartes atribui ao corpo identidade entre espaço e lugar como se eles fossem a mesma coisa, de tal modo que são apenas separáveis por pensamento, já que são modos da extensão, ou atributos do corpo, por assim dizer. Na *Metafísica cartesiana*, o corpo é determinado pela substância extensa e seus modos, e assim o movimento se torna um atributo inerente a ele. Todavia, ao conceber a extensão como indeterminada, segundo Newton, Descartes incorre na incerteza, e agir dessa maneira parece abandonar o critério de certeza, uma vez que Descartes não se arrisca em dizer que o corpo é divisível infinitamente. Ao identificar espaço e lugar, que acompanham o mesmo corpo, Descartes torna impossível o movimento do corpo, sem medir seu movimento local:

Segue-se indubitavelmente que o movimento Cartesiano não é movimento, pois não tem velocidade, nem definição e não há espaço ou distância percorrida por ele. Assim, é necessário que a definição de lugares e, portanto, de movimento local, seja encaminhada a alguma coisa imóvel, como a extensão isolada ou o espaço, na medida em que seja verdadeiramente distinta dos corpos. E isso o filósofo Cartesiano

¹⁶² “L'espace, ou le lieu intérieur, et le corps qui est compris en cet espace, ne sont différents aussi que par notre pensée. Car, en effet, la même étendue en longueur, largeur et profondeur, qui constitue l'espace, constitue le corps; et la différence qui est entre eux ne consiste qu'en ce que nous attribuons au corps une étendue particulière, que nous concevons changer de place avec lui toutes les fois et quantes qu'il est transporté, et que nous en attribuons à l'espace une si générale et si vague, qu'après avoir ôté d'un certain espace le corps qui l'occupait, nous ne pensons pas avoir aussi transporté l'étendue de cet espace, à cause qu'il nous semble que la même étendue y demeure toujours, pendant qu'il est de même grandeur, de même figure, et qu'il n'a point changé de situation au regard des corps de dehors par lesquels nous le déterminons”.

pode permitir mais voluntariamente se ele perceber que o próprio Descartes tinha uma ideia de extensão como distinta dos corpos, que desejava distinguir da extensão corpórea chamando-a de genérica (*Principia*, Part II. Art. 10, 12, 18). (NEWTON, HH, 1978, p. 131) ¹⁶³.

Sendo possível a distinção entre espaço e corpo só por pensamento, segundo este artigo, será o art. 12 o lugar de atribuir à extensão geral o espaço desocupado pelo corpo, quando este se desloca de um lugar para outro. Já no art. 18, atribui à distância uma propriedade da extensão para explicar a ausência do corpo que deixou um determinado lugar ao viajar para outro. Desse modo, Newton observa que Descartes até tentou estabelecer a distinção entre corpo e extensão, mas foi malsucedido porque não conseguiu definir a velocidade e a distância do corpo. Sendo assim, a extensão geral só pode ser considerada, caso seja possível considerar a extensão imóvel, para tornar possível o movimento local e assim determinar sua velocidade, direção e distância percorrida. Ao analisar a distância cartesiana, como propriedade da extensão, verificou-se que o movimento é impossível:

Pois é necessário que dois corpos se toquem um ao outro, quando não há nada entre eles, porque haveria contradição que esses dois corpos estivessem distantes, isto é, que haveria distância entre eles, e ainda assim essa distância não seria nada, pois a distância é uma propriedade de extensão, que não pode existir sem alguma coisa extensa. (DESCARTES, *Principes* II, art. 18, AT IX, 1994, p. 73) ¹⁶⁴.

A distância, para Descartes, não pode ser percorrida, pois o espaço existente fora do corpo é um tipo de corpo que se encontra com seu vizinho, por conseguinte, a impossibilidade de sua determinação se choca com a própria ideia de movimento, que só foi concebida a partir das determinações mecânicas estabelecidas por Newton. A extensão como substância instaura o problema do movimento local em Descartes, e foi por isto que Newton a rejeitou, em função dela ser um obstáculo para explicar a origem do movimento. Assim, o entendimento cartesiano sobre o movimento dos planetas repousa sobre um sistema de vórtice giratório, onde a Terra e os planetas estão em repouso e são empurrados pelos vórtices giratórios, mas que tendem a se afastar do Sol. Há, entretanto, uma matéria sutil, mas extremamente densa,

¹⁶³ “It follows indubitably that Cartesian motion is not motion, for it has no velocity, no definition, and there is no space or distance traversed by it. So it is necessary that the definition of places, and hence of local motion, be referred to some motionless thing such as extension alone or space in so far as it is seen to be truly distinct from bodies. And this the Cartesian philosopher may the more willingly allow, if only he notices that Descartes himself had an idea of extension as distinct from bodies, which he wished to distinguish from corporeal extension by calling it generic (*Principia*, Part II. Art. 10, 12, 18)”.

¹⁶⁴ “Car il faut que deux corps s'entre-touchent, lorsqu'il n'y a rien entre eux deux, parce qu'il y aurait de la contradiction que ces deux corps fussent éloignés, c'est-à-dire qu'il y eût de la distance de l'un à l'autre, et que néanmoins cette distance ne fût rien: car la distance est une propriété de l'étendue, qui ne saurait subsister sans quelque chose d'étendu”.

que preenche o espaço: trata-se de um fluido corpóreo entre os planetas, o chamado éter, que explica o movimento vórtico cartesiano (NEWTON, HH, 1978, p. 124).

Para Newton, movimento é mudança de lugar e a concepção de movimento cartesiano é incompatível com os princípios da mecânica:

Em particular, é incompatível com o princípio de inércia: se o movimento verdadeiro de um corpo é definido em relação aos corpos contíguos e estes são partículas que fluem constantemente do vórtice, será impossível definir um caminho definitivo para o corpo. E, nesse caso, será impossível dizer se esse caminho é retilíneo ou uniforme (DISALLE, 2002, p. 46)¹⁶⁵.

Para que haja mudança de lugar, deve-se calcular a distância e sem ela não é possível calcular a velocidade dos corpos que são empurrados por seus vizinhos através desse fluido vórtico. Por sua vez, a lei de inércia cartesiana, segundo a qual o corpo permanece no mesmo estado, enquanto não se choca com o outro, perde o sentido, pois o espaço cheio de matéria está sempre em choque com o corpo em movimento. Se o corpo tende a continuar seu movimento em linha reta, o espaço cheio de matéria anula essa tendência porque o espaço deve ser vazio para o corpo adquirir essa tendência. Ou seja, se os planetas são imóveis e são empurrados pelo movimento vórtico, os planetas perdem a inclinação de viajar em linha reta porque a densidade do fluido etéreo anula a força retilínea. Do mesmo modo, o éter que envolve os planetas oferece muita resistência, tornando impossível a aplicação da lei de inércia, pelo permanente choque do fluido etéreo com os planetas. Para Newton, se o éter oferece pouca resistência, pressupõe-se que a propagação do movimento, por meio de partículas vazias, dá origem à fluidez da ação do choque entre os corpos. Mesmo negando a teoria dos vórtices cartesiana, o movimento giratório dos planetas, observado por Newton, é também explicado pelo movimento vórtico, pois os corpos são movidos pela atração da força centrípeta. O que faltou, em Descartes, foi a elaboração do conceito de força, o que mudaria a lei de inércia e seu importante papel na explicação do movimento giratório.

¹⁶⁵ “In particular, it is incompatible with the principle of inertia: if a body’s true motion is defined relative to contiguous bodies, and the latter are the constantly flowing particles of the vortex, it will be impossible to define a definite path for the body. And in that case, it will be impossible to say whether that path is rectilinear or uniform.”

O éter newtoniano é o que explica a propagação do movimento e da ação à distância, posto que, ao considerá-lo como um fluido elástico, torna-se mais compatível com as leis do movimento¹⁶⁶. Oferecendo pouca resistência ao movimento dos corpos, esse mesmo éter, como hipótese Metafísica, não dá a oportunidade de se constatar sua ação experimentalmente:

Mas para proceder às Hipóteses: em primeiro lugar, deve se supor que há um Meio etéreo, muito da mesma constituição do ar, mas muito mais raro, sutil e mais fortemente Elástico. Da existência deste Meio, o movimento de um Pêndulo em uma vasilha de vidro cheio de Ar, quase tão rápido quanto no ar aberto, não é um argumento insignificante. Mas não se deve supor que este Meio é uma matéria uniforme, mas composto em parte do corpo fleumático de éter, em parte de outros vários Espíritos etéreos, muito depois da maneira que o Ar é composto do corpo fleumático do Ar misturado com vários vapores e exalações. Para os efluentes elétricos e magnéticos o princípio de gravitação parece mostrar essa variedade. Talvez a estrutura inteira da Natureza não seja senão um éter condensado por um princípio de fermentação. [Pode ser apenas várias Texturas de alguns certos espíritos ou vapores condensados, por assim dizer, pela precipitação, muito depois que os vapores são condensados em água ou exalações em Substâncias mais grossas, embora não tão facilmente condensável; e depois da condensação moldada em várias formas, em primeiro lugar pela mão imediata do Criador, e desde então pelo poder da Natureza, que por virtude do comando Crescer e Multiplicar, tornou-se um Imitador completo das cópias que a colocou pelo Protoplasto] . Assim, talvez todas as coisas sejam originadas do éter (NEWTON, 1959, p. 364)¹⁶⁷.

Segundo Burt (1960, p. 296-299), esta é a primeira elaboração do conceito de éter feita por Newton, em sua carta a Oldenburg, datada em 07 de dezembro de 1675, mas aqui Newton não se arrisca em dizer que o éter é material, mas que pode ser considerado como um meio, composto de “corpo fleumático” e de vários “espíritos etéreos” capazes de propagar o

¹⁶⁶ A primeira lei de movimento se expressa com a lei de inércia, ou seja, pela tendência de os corpos permanecerem no mesmo estado; a segunda se dá pela medida da força como produto da massa e aceleração; a terceira, lei de ação e reação. Essas leis, no entanto, se aplicam à mecânica newtoniana, mas, no momento, elas nos servem para evocar a importância da elaboração da hipótese newtoniana do éter.

¹⁶⁷ “But to proceed to the Hypothesis; first, it is to be supposed therein, that there is an aethereall Medium much of the same constitution with air, but far rarer, subtler & more strongly Elastic. Of the existence of this Medium the motion of a Pendulum in a glasse exhausted of Air almost as quickly as in the open Air, is no inconsiderable argument. But it is not to be supposed, that this Medium is one uniforme matter, but compounded partly of the maine flegmatic body of aether partly of other various aethereall Spirits, much after the manner that Air is compounded of the flegmatic body of Air intermixt with various vapours & exhalations. For the Electric & Magnetic effluvia and gravitating principle seem to argue such variety. Perhaps the whole frame of Nature {may be nothing but aether condensed by a fermental principle} [may be nothing but various Contextures of some certaine aethereall Spirits or vapours condens'd as it were by praecipitation, much after the manner that vapours are condensed into water or exhalations into grosser Substances, though not so easily condensable; and after condensation wrought into various formes, at first by the immediate hand of the Creator, and ever since by the power of Nature, wich by vertue of the command Increase & Multiply, became a complete Imitator of the copies sett her by the Protoplast]. Thus perhaps may all things be originated from aether”.

movimento da eletricidade, magnetismo e gravidade. Por ora, o éter é apenas uma hipótese Metafísica, pois não há como demonstrar suas ações em razão de ser inacessível aos sentidos.

No Escólio Geral dos *Principia*, ao tratar desse espírito muito sutil, que penetra os corpos, Newton chega à seguinte conclusão: “Mas estas são coisas que não podem ser explicadas com poucas palavras e também não dispomos de experimentos suficientes que sejam necessários para uma exata determinação e demonstração das leis pelas quais este espírito elétrico e elástico opera” (1973, p. 547)¹⁶⁸. Observa-se que trinta e dois anos depois, Newton não muda sua posição em relação a concepção do éter assim estabelecida no Escólio Geral. Para Burt (1960, p. 296-299), não é compreensível o fato de que Newton, mesmo de forma hipotética, não conceba o éter como sendo material. Oscila ao defini-lo, por vezes se dirige a ele como um meio, outras vezes como espírito, sem responder à pergunta: o éter é material ou não? Ao tratar de uma hipótese Metafísica que explica o mundo físico seria compreensível se ele se arriscasse em afirmar a materialidade do éter, tendo em vista que o movimento ocorre entre partículas que se agregam ou se separam por força da atração ou repulsão presente na matéria composta dessas partículas, embora sejam particularmente diminutas. Haja visto que, ao criticar a extensão cartesiana, tinha em mente não só refutar a teoria dos vórtices, mas, conseqüentemente, a ideia de éter como matéria sutil, de uma densidade que impossibilita o movimento dos corpos.

Desse modo, acredita que a extensão não é substância porque ela não produz uma ação capaz de criar o corpo ou de gerar seu movimento, e como se trata de um “efeito emanativo de Deus”, a extensão também não é acidente porque ela pode existir com ou sem corpo. A extensão, portanto, abstraindo as propriedades relativas ao corpo, é apenas um modo de existir ilimitado em comprimento, largura e profundidade, e disto segue que o espaço se estende a todas as direções, que suas partes são imóveis, que é uma disposição de ser enquanto tal, que de nenhuma forma muda o movimento dos corpos, e que, por ser eterno e imutável, é também um efeito “emanativo” de Deus (NEWTON, HH. 1978, p. 134-137).

Essa crítica à extensão cartesiana faz Newton elaborar uma teoria da substância significativa, pois é a partir dela que a noção de espaço passa a ser importante para que ele resolva os problemas da extensão e movimento, em Descartes, mas também para que ele

¹⁶⁸ “But these are things that cannot be explained in few words, nor are we furnished with that sufficiency of experiments which is required to an accurate determination and demonstration of the laws by which this electric and elastic spirit operates.”

estabeleça a gênese da noção de tempo ao comparar as partes do espaço com sua duração, uma vez que suas posições não podem ser trocadas devido à ordem por elas estabelecidas. A extensão não pode ser substância porque nela não se encontra um critério de ação que seja capaz de explicar o movimento. De acordo com a *Óptica*, o movimento é regido por princípios ativos e passivos, que exercem um poder natural na matéria, segundo os quais, certas forças são consideradas fundamentais para sua conservação e resistência:

A *vis inertiae* é um princípio passivo pelo qual os corpos persistem em seu movimento e repouso, recebem movimento em proporção à força neles impressa e resistem na mesma proporção da resistência que recebem. [...] a variedade do movimento que encontramos no mundo está sempre diminuindo, há uma necessidade de conservá-lo e reuni-lo por princípios ativos, como são a causa da gravidade, em virtude da qual os planetas e os cometas mantêm seus movimentos em suas órbitas e os corpos em queda adquirem um grande movimento (NEWTON, 1993, pp. 540-541)¹⁶⁹.

A *vis inertiae* é um poder inato da matéria, pois todo corpo possui força para resistir a mudança de movimento ou para permanecer em repouso, e como se trata de um princípio passivo, esse poder inato não tem a capacidade de gerar ou mudar o movimento. Entretanto, a gravidade não é uma propriedade inata da matéria e Newton não se arrisca a dizer que seja, embora Cotes, no Prefácio à segunda edição dos *Principia*, considere, de forma equivocada, que a gravidade possui o mesmo atributo encontrado em todos os corpos (NEWTON, 1974, p. xxi). Para Newton, a gravidade tem o poder natural de manter o movimento dos planetas e cometas, de restabelecê-los em suas órbitas, mas a causa física desse poder é desconhecida, pois a capacidade de conservar o movimento não revela a sua causa. E, retornando a Questão 31, há uma importante distinção entre princípios ativos e passivos:

Parece-me, ademais, que essas partículas não têm apenas a *vis inertiae*, acompanhadas com leis passivas do movimento como as que resultam naturalmente dessa força, mas também são regidas por certos princípios ativos, como o da gravidade e o que causa a Fermentação e a coesão dos corpos. Considero esses princípios, não como qualidades ocultas, que se supõe resultar de formas específicas das coisas, mas como leis gerais da natureza, em virtude das quais as coisas são formadas, a verdade delas aparecendo para nós pelos fenômenos, embora suas causas ainda não estejam descobertas. Pois estas qualidades estão

¹⁶⁹ “The *vis inertiae* is a passive principle by which bodies persist in their motion or rest, receive motion in proportion to the force impressing it, and resist as much as they are resisted. [...] the variety of motion which we find in the world is always decreasing, there is a necessity of conserving and recruiting it by active principles, such as are the cause of gravity, by which planets and comets keep their motions in their orbs, and bodies acquire great motion in falling.”

manifestas, e apenas suas causas são ocultas. E os aristotélicos deram nome de qualidades ocultas não às qualidades manifestas, mas apenas às que eles supunham estar escondidas nos corpos e que seriam as causas desconhecidas dos efeitos manifestos (NEWTON, 1993, pp. 541-542)¹⁷⁰.

Se fosse possível conhecer a gravidade, ela seria revelada não mais como princípio ativo, mas como um certo tipo de substância criadora para assim adquirir um estatuto metafísico na Filosofia Natural. Como disse mais acima, a *vis inertiae* é um princípio passivo porque, mesmo sendo uma propriedade inata da matéria, não tem a capacidade de agir para causar ou reduzir o movimento. Mas, segundo o excerto acima, esse princípio é regido por princípios ativos, responsáveis por restabelecer e conservar o movimento, e daí resulta sua distinção com os princípios passivos. Por sua vez, Stein (2002, p. 290), em sua análise Metafísica desses princípios, mostra que Newton não só identifica princípios ativos às leis gerais, mas acredita que essas leis são assim denominadas para distingui-las das formas substanciais aristotélicas, que são qualidades ocultas. É importante considerar que há, na Inglaterra, uma tendência em recusar a explicação da matéria apenas pela ideia de movimento ou ação entre os corpos, preferindo-se a adoção de princípios ativos que possam explicá-la (SHAPIRO, 2004, p. 203). Ademais, essas mesmas leis se revelam apenas nos efeitos manifestos, cujas causas permanecem desconhecidas. É tentador, segundo Stein (2002, p. 290-291), considerar que os princípios ativos possam substituir as formas substanciais, uma vez que tais princípios possuem a capacidade de agir ao restabelecer e conservar o movimento, e por isto são ativos, e assim produzem seus efeitos. Entretanto, Newton se mantém cuidadoso ao atribuir às leis do movimento uma extensão tão geral, que suas verdadeiras causas permanecem desconhecidas. Talvez por esta razão que Newton se negue a afirmar que a gravidade seja propriedade inata da matéria, que o éter seja material, caso fossem, suas verdadeiras causas seriam conhecidas e passariam a ter estatuto metafísico, da forma substancial assim rejeitada em *De gravitatione*.

Considerar os princípios ativos como qualidades que se expressam por leis gerais da natureza representa um grande passo para a Filosofia Natural em certa medida, pois essas leis

¹⁷⁰ “It seems to me further, that these particles have nor only a *Vis inertiae*, accompanied with such passive Laws of Motion as naturally result from that force, but also that they are moved by certain active principles, such as is that of gravity, and that which causes fermentation, and the cohesion of bodies. These principles I consider not as occult qualities, supposed to result from the specific forms of things, but as general laws of nature, by which the things themselves are formed; their truth appearing to us by phenomena, though their causes be not yet discovered. For these are manifest qualities, and their causes only are occult. And the Aristotelians gave the name of occult qualities not to manifest qualities, but to such qualities only as they supposed to lie hid in bodies, and to be the unknown causes of manifest effects.”

estão subordinadas a uma ação inteligente. Convém dizer que esta ação, se for dirigida ao que se diz em *De gravitatione*, se aplica à concepção de extensão como efeito “emanativo” de Deus, tão logo se possa compará-la à sua onipresença. Tanto no Escólio Geral dos *Principia*, onde: “Todos concedem que o Deus Supremo necessariamente existe, e pela mesma necessidade ele existe *sempre* e em *todo lugar*” (1973, p. 545; grifo do autor)¹⁷¹; quanto na Questão 31 da *Óptica*, em que a extensão se caracteriza como sensorio divino, pois, “[...] estando em todos os lugares, é mais capaz por Sua vontade de mover os corpos dentro do Seu sensorio ilimitado, uniforme e assim formar as partes do Universo, do que nós somos capazes por nossa vontade de mover as partes de nossos próprios corpos” (1993, p. 452),¹⁷² tem-se uma clara mudança de posição de Newton, em relação ao lugar da Metafísica na Filosofia Natural. Existir “sempre”, e em “todo lugar”, implica tempo e espaço absolutos consecutivamente, pois a extensão, como efeito “emanativo” de Deus, é atribuída aos corpos que expressam sua propriedade extensa na aparência das coisas, assim como também explica a mudança de lugar, segundo a ordem de situação e sucessão, embora não seja a causa dessa mudança. Deus, portanto, forma uma base para discussão Metafísica, no interior da Filosofia experimental, como princípio ativo de explicação dos efeitos, “desde que sejam baseados em fenômenos, caso contrário, são hipotéticos e nela não têm lugar” (SHAPIRO, 2004, p. 199)¹⁷³.

Assim, a partir das aparências das coisas se pode falar de um Deus de maneira bastante apropriada, para não dizer inevitável. Porque a onipresença de Deus é uma substância que não nos é acessível aos sentidos, a não ser pela extensão dos corpos, como parte do espaço infinito, ou pelos efeitos produzidos na natureza, que só podem ser explicados por leis gerais e não por causa natural. É por esta substância de Deus que a extensão se torna seu efeito “emanativo”, e, enquanto propriedade dos corpos, limita-se a definir suas dimensões espaciais ao expressar a forma geométrica em que o espaço está situado nas leis mecânicas do movimento. Cabe à extensão uma função explicativa do movimento sem, portanto, explicar sua verdadeira causa natural.

Newton tinha consciência de que certos fatos empíricos não podem ser explicados naturalmente por que as leis naturais estão condicionadas a existência de Deus. Ainda que a

¹⁷¹ “It is allowed by all that the Supreme God exists necessarily; and by the same necessity he exists always and everywhere.”

¹⁷² “[...] who being in all places, is more able by His will to move the bodies within His boundless uniform sensorium, and thereby to form and reform the parts of the Universe, than we are by our will to move the parts of our own bodies.”

¹⁷³ “[...] provided they are based on phenomena, otherwise they are hypothetical and have no place in it.”

teologia newtoniana traga uma interpretação do universo diferente da ciência empírica, a Filosofia Natural nos aproxima de Deus, na medida em que, segundo Burt , “[...] cada passo da filosofia natural nos aproxima de um conhecimento da primeira causa, e por esta razão tem de ser altamente valorizada” (1960, p.310)¹⁷⁴. E se Deus não está separado do mundo, atua sobre nós, sobre nosso modo de conhecer e de se apropriar da natureza, para que assim seja possível conceber uma ciência que dependa de Deus: “Pois até onde podemos saber pela filosofia natural, o que é a Causa Primeira, que poder Ele tem sobre nós e que benefícios recebemos dEle, ficará evidente para nós, até onde vai o nosso dever para com Ele e o nosso dever uns para com os outros, nos aparecerá pela luz da Natureza” (NEWTON, 1993, 543)¹⁷⁵.

De tal maneira, Deus também exerce um poder sobre a natureza e desse modo os princípios ativos ficam subordinados a Ele. E tendo a ação como critério de substancialidade, somente Deus, enquanto substância pura e Causa Primeira, tem o poder de causar movimento e percepções em nosso pensamento. Não cabe à Filosofia Natural designar outros tipos de substâncias ou qualidades ocultas como fizeram os aristotélicos, pois a essência procurada não tem causa natural: “O mundo de Aristóteles era o das substâncias. Uma substância possui qualidades e propriedades que, consideradas em conjunto, conduzem a uma *forma*, que depende fundamentalmente de sua essência” (GLEICK, 2004, p. 34; grifo do autor). E esse mesmo mundo recebe de Newton um novo tipo de interpretação que exige a renúncia dessas substâncias, pois estas se referem às supostas causas, que são inacessíveis aos sentidos, mas que produzem efeitos naturais perceptíveis sensivelmente. E se a essência não nos é acessível, o que podemos perceber pelos sentidos só pode ser conhecido pelas leis gerais da natureza. Sendo a natureza subordinada a Deus, Newton, nos *Principia*, atribui a Deus alguns deveres, o primeiro deles, no Escólio Geral, é o de impedir que as estrelas se choquem:

Este sistema belíssimo do sol, planetas e cometas só pode ter surgido do conselho e domínio de um Ser inteligente e poderoso. E se as estrelas fixas são centros de outros sistemas similares, estes, sendo formados por um conselho sábio semelhante, devem estar sujeitos ao domínio de Alguém, especialmente porque a luz das estrelas fixas é da mesma natureza que a luz do sol, e de cada sistema a luz passa para todos os outros sistemas. E para evitar que os sistemas das estrelas fixas caíssem

¹⁷⁴ “[...] cada paso verdadero de la filosofía natural nos aproxima a un conocimiento de la causa primera, y por esta razón tiene que ser altamente valorada”.

¹⁷⁵ “For so far as we can know by natural philosophy what is the First Cause, what power He has over us, and what benefits we receive from Him, so far our duty towards Him, as well as that towards one another, will appear to us by the light of Nature”.

um sobre o outro por suas gravidades, ele colocou estes sistemas a imensas distâncias entre si (NEWTON, 1973, p. 544)¹⁷⁶.

O segundo dever, conforme a *Óptica*, é o de reformar o sistema do mundo para corrigir suas irregularidades:

Pois enquanto os cometas se movem em órbitas muito excêntricas em todos os modos e posições, um destino cego nunca poderia fazer com que todos os planetas se movessem de uma mesma maneira em órbitas concêntricas, excetuadas algumas irregularidades insignificantes que podem ter resultado das ações mútuas dos cometas e planetas uns sobre os outros e que serão capazes de aumentar até que o sistema necessite de uma reforma (NEWTON, 1993, p. 542)¹⁷⁷.

Sendo assim, a substância divina vai além das leis naturais para constituir sua vontade de manter a ordem e a uniformidade do mundo, para se tornar uma necessidade científica que se estabelece na Filosofia Natural newtoniana. Ademais, essa mesma substância se encarrega de reformar o sistema do mundo, se assim for necessário, pois, sendo a ordem contrária ao acaso cego, somente Deus tem o poder de corrigir as irregularidades naturais decorrentes dos movimentos para restabelecer a regularidade. O universo pode desencadear irregularidades, mas a ordem se estabelece segundo a vontade e providência divina:

A doutrina de Newton é uma etapa de transição historicamente importante entre o providencialismo milagroso da Filosofia religiosa anterior e da tendência ulterior de identificar a Divindade com o claro fato da ordem e harmonia racionais. Deus é ainda providência, porém, o exercício principal de seu poder milagroso se apropria em manter a exata regularidade Matemática no sistema do mundo, sem a qual desapareceriam sua inteligibilidade e beleza (BURTT, 1960, pp. 326-327)¹⁷⁸.

¹⁷⁶ “This most beautiful system of the sun, planets, and comets could only proceed from the counsel and dominion of an intelligent and powerful Being. And if the fixed stars are the centers of other like systems, these, being formed by the like wise counsel, must be all subject to the dominion of One; especially since the light of the fixed stars is of the same nature with the light of the sun, and from every system light passes into all the other systems: and lest the systems of the fixed stars should, by their gravity, fall on each other, he hath placed those systems at immense distances from one another”.

¹⁷⁷ “For while comets move in very eccentric orbs in all manner of positions, blind fate could never make all the planets move one and the same way in orbs concentric, some inconsiderable irregularities excepted, which may have risen from the mutual actions of comets and planets upon one another, and which will be apt to increase, till system wants a reformation”.

¹⁷⁸ “La doctrina de Newton es una etapa de transición históricamente importante entre el providencialismo milagroso de la anterior filosofía religiosa y la tendencia ulterior de identificar a la Divinidad con el claro hecho del orden y armonía racionales. Dios es aún providencia, pero ejercicio principal de su poder milagroso finca en mantener la exacta regularidad Matemática en el sistema del mundo, sin la cual desaparecerían su inteligibilidad y belleza”.

Impedindo que as estrelas se choquem, restabelecendo ou reformando o sistema do mundo para corrigir suas irregularidades, essas tarefas fazem com que Newton atribua a existência necessária de Deus. A Matemática, porém, é a linguagem apropriada para explicar a estrutura da natureza, segundo a qual a arquitetura de Deus se manifesta nessa ordem estabelecida.

A Metafísica newtoniana cumpre então o seu papel ao se servir de princípios matemáticos que concebem a extensão como efeito “emanativo” de Deus, segundo sua teoria da substancialidade em *De gravitatione*. Dito isto, ao se apropriar das aparências das coisas e tornar a questões que concernem a Deus apropriadas à Filosofia Natural, a providência divina ocupa um lugar segundo o qual ciência newtoniana está erigida.

A estrutura da natureza, firmada na ordem de situação e sucessão, obtém seu espaço metafísico na Filosofia Natural quando Newton concebe um mundo governado pela ação inteligente de Deus: “Ele dura para sempre e está presente em todo lugar e, ao existir sempre e em todo lugar, constitui a duração e o espaço” (NEWTON, 1973, p. 545)¹⁷⁹. Tendo Deus como princípio de tudo e cuja substância só é acessível por meio dos efeitos naturais, espaço e tempo são critérios fundamentais para que esses efeitos sejam produzidos. Sendo espaço e tempo efeitos divinos, é possível compreender como as partes do espaço e do tempo coexistem entre si para explicar o movimento a partir da aplicação das leis naturais.

Pode-se, então, afirmar que a Metafísica foi o ponto de partida para que Newton pudesse elaborar sua Filosofia mecânica. Embora Newton tenha estabelecido primeiro os princípios matemáticos de sua Filosofia Natural, essencialmente empírica, a Metafísica se torna presente em sua obra como uma necessidade de aproximar a ciência da causa primeira. Mais do que isto, Newton torna a Metafísica inseparável da Física.

4.3) O desenvolvimento da Física newtoniana

Na seção 4.1, viu-se como Newton delimita o movimento como objeto da Filosofia natural que, ao ser investigado, é possível descobrir a força que nele existe e com a qual outros fenômenos podem ser produzidos. Essa delimitação é importante porque revela o campo específico da Física em que Newton atua, elaborando uma Filosofia mecânica e buscando, através de um método que é essencial para sua Filosofia Natural, descobrir as

¹⁷⁹ ‘He endures forever, and is everywhere present; and, by existing always and everywhere, he constitutes duration and space.’

causas das mudanças de movimento. Força e movimento, então, constituem a formulação de uma mecânica racional que exige o rigor das demonstrações estabelecidas nas proposições matemáticas dos *Principia*.

Trata-se de uma ciência essencialmente empírica, cujos conceitos concebidos, nas Definições dos *Principia*, tornam-se necessários para a formulação dos princípios matemáticos, que demonstram ou revelam as causas da mudança de movimento na experiência. Esses conceitos, tal como Newton estabelecera nos *Principia*, são formulados para se chegar às medidas de massa, movimento, força inata da matéria (*vis insita*), força impressa, força centrípeta e suas quantidades absoluta, acelerativa e motriz (1974, pp. 1-6). Deve-se considerar aqui que a “[...] propriedade disposicional inerente, *vis insita*, que, manifestando-se por um estado de inércia, atua simultaneamente como resistência interna aos corpos e como impulso a partir deles” (McGUIRE, 1996, p. 251)¹⁸⁰.

Após tais considerações, Newton segue com suas definições de tempo, espaço, lugar e movimento para que possa, enfim, se desfazer de certos preconceitos de origem do senso comum. O tempo é um conceito segundo o qual se determina a duração do movimento; o espaço determina a posição das partes do lugar; mas o movimento é então a unidade de medida, na ordem de sucessão do tempo e de situação do espaço. Até aqui, de forma muito genérica esses conceitos são colocados para evocar seu significado sensível, uma vez que suas medidas dependem de fatos observados e, portanto, trata-se de medidas relativas. No entanto, os conceitos de tempo, espaço, lugar e movimento absolutos, tornam-se medidas absolutas, atingíveis por suas ligações relativas no cálculo das fluxões e na Geometria analítica.

A força, por sua vez, é um conceito fundamental estabelecido como critério físico utilizado para demonstrar o movimento dos corpos no tempo no espaço, e isto também se aplica ao movimento dos planetas. Embora Newton tivesse uma ideia muito clara de que a força é a causa do movimento, conforme as Definições III a VII dos *Principia*, esse conceito ainda não é tão evidente porque existe uma ação que opera dentro dessa força, mas que, por não ser acessível aos sentidos, não demonstra precisamente como se dá essa ação. Há somente uma conjectura possível de que o éter seja a origem da força, mas sua ação não pode ser provada porque Newton não pôde afirmar se o éter é material ou não. Ao que tudo indica, não é possível provar se o éter é material e nem há como negá-lo, mas essa é uma hipótese que

¹⁸⁰ “[...] inherent dispositional property *vis insita* which, manifesting itself by an inertia state, acts simultaneously as resistance internal to bodies and as impulse way from them.”

compele uma interação Física e Metafísica entre Deus e o universo. Nesse sentido, o Escólio Geral dos *Principia* é bastante revelador:

E agora poderíamos acrescentar alguma coisa concernente a um certo espírito muito sutil que penetra e fica escondido em todos os corpos grandes, por cuja força e ação das quais o espírito das partículas dos corpos se atraem umas às outras quando se encontram a distâncias próximas e se unem se estão contíguas (NEWTON, 1973, p. 547) ¹⁸¹.

Portanto, tem-se a ideia clara de que existe uma ação que exerce um poder sobre a força, mas esta ação etérea, por assim dizer, não está ao alcance das experiências e nem é possível introduzir nela uma unidade de medida que seja capaz de demonstrar como essa ação é exercida sobre a força. É inegável, entretanto, que Newton necessitou desenvolver um estado não matemático da hipótese do éter para assim chegar às explicações essencialmente matemáticas em termos de forças:

Em outras palavras, antes dos *Principia* (e ainda sob a influência de Descartes), Newton estava forçosamente satisfeito em reservar um grande papel para as hipóteses mecânicas de primeira ordem. O que ele descobriu – não em sua juventude brilhante, mas em sua elaboração amadurecida da mecânica – foi o sucesso do conceito de força para possibilitar a ciência Matemática; isso era algo que ele só poderia saber plenamente depois de erguer a mecânica celeste sobre as bases da força da gravitação (HALL, A. R. & HALL, M. B. 2002, p. 113).

O éter não explica a origem da força, mas, embora seja uma hipótese provável, não se pode deixar de considerar que essa hipótese favoreceu a descoberta do conceito de força, tornando este conceito eficaz ao aplicá-lo na explicação dos diversos tipos de movimentos dos corpos. Foi o éter, como hipótese de primeira ordem ou Metafísica, que possibilitou a passagem de seu estado não matemático para explicações de segunda ordem, portanto matemáticas, usando a força como unidade de medida para todas as mudanças de movimento. Ao firmar isto, precisou-se considerar o início da formulação do éter em *De gravitatione*, manuscrito da juventude de Newton que inicia a formulação dessa hipótese, e nela se vê a conjectura da ação etérea sobre alguns dos efeitos da gravitação, que é uma conquista da aplicação do conceito de força.

¹⁸¹ “And now we might add something concerning a certain most subtle spirit which pervades and lies hid in all gross bodies; by the force and action of which spirit the particles of bodies attract one another at near distances, and cohere, if contiguous.”

O que Newton tinha em mente, com a formulação dos *Principia*, era explicar o movimento dos corpos acessíveis aos sentidos para alcançar o propósito de explicar o movimento dos planetas e assim desenvolver uma Filosofia mecânica na astronomia. A descoberta da lei de gravitação universal foi fundamental para esse propósito ao tornar possível as medidas das quantidades de massas, distâncias, movimento e velocidade dos planetas, graças às quais o conceito de força foi essencial para a elaboração dessa lei. Ademais, a presença do conceito de força, nos *Principia*, compôs a essência da demonstração newtoniana dos fenômenos celestes, oferecendo um tratamento rigorosamente matemático (COHEN & WESTFALL, 2002, p. 22).

Ao identificar os problemas do movimento cartesiano, Newton percebeu que o conceito de pressão definido por Descartes estava equivocado porque nele faltava aplicar o conceito de força. Na Questão 28 da *Óptica*, há uma crítica à concepção do movimento da luz em Descartes, nos mostrando que o conceito de pressão cartesiano é confundido com força:

Se a luz consistisse apenas na pressão propagada sem movimento real, ela não seria capaz de agitar e aquecer os corpos que a refratam e refletem. Se consistisse um movimento propagado a todas as distâncias num instante, exigiria uma força infinita a cada momento, em cada partícula brilhante, para gerar esse movimento. E se consistisse em pressão ou movimento propagado ou num instante ou no tempo, ela se curvaria para a sombra. Pois pressão ou movimento não podem ser propagados em um fluido em linhas retas além de um obstáculo que intercepta parte do movimento, mas se curvarão e se espalharão em todas as direções no meio quiescente que está além do obstáculo. A gravidade tende para baixo, mas a pressão da água, que resulta da gravidade, tende para todas as direções com força igual e é propagada tão prontamente e com tanta força lateralmente quanto para baixo e tanto através de passagens curvas como através de passagens retas (NEWTON, 1993, pp. 525-526)¹⁸².

Essa análise nos remete à *Dióptrica* de Descartes, especialmente ao Discurso Primeiro da Luz, onde ele faz uma analogia da propagação da luz com o bastão do cego, que, ao tocar as superfícies sólidas, maleáveis ou líquidas, a vibração do bastão, em contato com a mão do cego, se dá imediatamente (AT VI, 1998, pp. 81-93). O bastão do cego é comparado ao raio

¹⁸² “If light consisted only in pression propagated without actual motion, it would not be able to agitate and heat the bodies which refract and reflect it. If it consisted in motion propagated to all distances in an instant, it would require an infinite force every moment, in every shining particle, to generate that motion. And if it consisted in pression or motion, propagated either in an instant or in time, it would bend into the shadow. For pression or motion cannot be propagated in a fluid in right lines, beyond an obstacle which stops part of motion, but will bend and spread every way into the quiescent medium which lies beyond the obstacle. Gravity tends downwards, but the pressure of water arising from gravity tends every way with equal force, and is propagated as readily, and with as much force sideways as downwards, and through crooked passages as through straight ones.”

de luz para mostrar que sua transmissão é instantânea, que se dá por meio de pressão exercida sobre as superfícies que toca. Esta ideia de pressão cai por terra em razão das descobertas empíricas de Newton em química, obtidos por sua ligação com Boyle, e pelo que ele pôde observar chegou à conclusão de que a pressão é um tipo de ação que não se aplica à propagação da luz porque a força da gravidade é o que atrai a luz para a superfície e em linha reta. Como a luz é um tipo de matéria sutil, não caberia a ela esse tipo de explicação, pois, por meio da pressão, ela não se propagaria em linha reta, mas se espalharia por todas as direções. Assim, a analogia do bastão de Descartes serve para explicar que a pressão da luz transmite sua propagação instantânea, o que, na perspectiva de Newton, é inconcebível, pois esse tipo de propagação exige uma quantidade de força superior ao que se aplica, segundo a atração da gravidade.

A ideia de pressão, em Newton, já havia sido expressa em *De gravitatione*, manuscrito no qual Newton dirige seus esforços para contestar a ideia de extensão e movimento em Descartes. Deixando claro que os espaços não são necessariamente os próprios corpos e que, portanto, não é uma propriedade exclusiva na matéria, mas derivam necessariamente os lugares em que a pressão opera, e se o espaço do corpo não pode ser penetrado, a pressão deixa de existir. Segundo a Definição 9 de pressão, em *De gravitatione*, veja o que Newton afirma:

A pressão é o esforço das partes contíguas para penetrar nas dimensões umas das outras. Pois, se pudessem penetrar, a pressão cessaria. E a pressão é apenas entre partes contíguas, que, por sua vez, pressionam outras que são contíguas a elas até que a pressão seja transmitida para as partes mais remotas de qualquer corpo, seja duro, macio ou fluido. E nesta ação se baseia a comunicação de movimento por meio de um ponto ou superfície de contato (HH, 1978, p. 148)¹⁸³.

Tem-se aqui um conceito de pressão como um tipo de movimento entre partes contíguas de um corpo que exerce sua ação sobre outras partes contíguas, mas que, se for aplicada a Definição 10 de gravidade, com a qual os corpos tendem a descer para o centro ou a seguir para qualquer outro ponto, nada impede que essa ação se espalhe para várias direções de forma proporcional à sua intensidade e à extensão da superfície por ela pressionada (*Ibid.*,

¹⁸³ “Pressure is the endeavor of contiguous parts to penetrate into each other’s dimensions. For if they could penetrate the pressure would cease. And pressure is only between contiguous parts, which in turn press upon others contiguous to them, until the pressure is transmitted to the most remote parts of any body, whether hard, soft or fluid. And upon this action is based the communication of motion by means of a point or surface of contact.”

p. 149). Concebida dessa forma, Newton se vê compelido a contestar a ideia de pressão em Descartes, dando início a uma Filosofia mecânica fundamentada no conceito de força aplicada a um sistema de referência capaz de calcular rigorosamente sua ação, em várias situações, e assim explicar como se dá a mudança de movimento.

Sendo o movimento um efeito da força, conceitos abstratos de sua medida são exigidos para que a ciência experimental esteja fundamentada sob princípios matemáticos, cujas medidas relativas são formuladas por movimentos relativos que se propagam no tempo e espaço relativos. Para que o movimento relativo possa ser observado, deve-se antes considerar os conceitos clássicos de espaço, tempo e movimento absolutos introduzidos nos *Principia*. As críticas mais comuns a esses conceitos surgem mediante a impossibilidade de submetê-los às medidas sensíveis, pois são conceitos metafísicos, inacessíveis ao experimento. Newton reivindica uma ciência experimental que tem por objeto a natureza, sendo movimento e força princípios essenciais para a explicação de fatos observáveis, acessíveis à “demonstração” experimental, interpretáveis pela linguagem universal da Matemática – mas espaço, tempo e movimento absolutos são objetos que também pertencem a essência de Deus. Na verdade, essas críticas não levam em consideração o que Newton pensou em Metafísica na sua juventude, nem nos motivos que o levaram a incluir o Escólio Geral dos *Principia* e as Questões da *Óptica*, sobretudo a Questão 31, conforme o que foi discutido anteriormente. Por outro lado, a insuficiência de explicação sobre o papel da Metafísica na Física torna difícil a compreensão desses conceitos, numa ciência que é essencialmente experimental. Burt levanta a seguinte questão:

[...] como sabemos então que há tais coisas como espaço, tempo e movimento absolutos? Se se admite que são inacessíveis para a observação e o experimento, e que todas nossas medidas e fórmulas são completamente relativas aos corpos sensíveis, que lugar ocupam na mecânica, que uso têm e como Newton, o experimentador e inimigo das hipóteses, se atreve a introduzi-los junto com suas definições da massa e da força e seus axiomas do movimento? (1960, pp. 273-274)¹⁸⁴

Leve-se em consideração que Newton não é inimigo das hipóteses. Burt aqui decide dar ênfase à oposição entre experimento e hipótese porque o próprio Newton, no Escólio Geral da segunda edição dos *Principia*, diz desenvolver uma ciência experimental onde não

¹⁸⁴ “[...] cómo sabemos entonces que hay cosas tales como espacio, tiempo y movimiento absolutos? Si se ha admitido que son inaccesibles para la observación y el experimento, y que todas nuestras medidas y fórmulas son completamente relativas a los cuerpos sensibles, qué lugar ocupan en la mecánica, qué uso tienen, y cómo Newton, el experimentador y enemigo de las hipótesis, ¿se atreve a introducirlos junto con sus definiciones de la masa y de la fuerza y sus axiomas del movimiento?”

há espaço para hipóteses. Conforme ao que foi dito anteriormente, as hipóteses sempre fizeram parte do trabalho de Newton, mas na ocasião da famosa afirmação *hypotheses non fingo*, referiu-se ao caso específico da gravitação, pois ele não se arriscaria em levantar qualquer hipótese que explicasse a causa da gravidade. Ao contrário, afirma desconhecê-la, por não haver experimento possível para supor qual seja. Mas a pergunta de Burtt se torna legítima, pois tempo, espaço e movimento absolutos são conceitos muito abstratos e são produzidos para explicar os fenômenos do movimento. Newton, por sua vez, ao desenvolver seu programa de ciência nos *Principia*, se preocupa em estabelecer princípios matemáticos, isto é, determinar conceitos abstratos de alcance experimental. Por isso, tempo, espaço, e movimento absolutos são requeridos porque são verdadeiros e matemáticos, por serem, em si mesmo, uniforme, imóvel e força respectivamente. Veja, pois, como Newton os define nos *Principia*, entendendo que tempo, espaço e movimento relativos são suas variações sensíveis e aparentes:

- I – O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração [...];
- II – O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel [...];
- III – O lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa, e de acordo com o espaço, é ou absoluto [inicial] ou relativo [...];
- IV – Movimento absoluto é a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro (NEWTON, 1974, pp. 6-7)¹⁸⁵.

Por serem verdadeiros e matemáticos, tempo, espaço e movimento absolutos são os princípios pelos quais se explicam e se aplicam suas medidas relativas. Deles se extraem propriedades que os distinguem de seus efeitos relativos. Embora o tempo relativo possa ser alterado, seja ele acelerado ou retardado, o fluxo do tempo absoluto é sempre uniforme. Os astrônomos, segundo Newton, são capazes de corrigir as alterações do tempo relativo, pois a duração dos dias não é igual, mas suas diferenças podem ser deduzidas através de equação astronômica: “A necessidade dessa equação para determinar os tempos de um fenômeno é evidenciada tanto a partir de experimentos com relógios de pêndulo, como eclipses dos

¹⁸⁵ “I. Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from its own nature, flows equably without relation to anything external, and by another name is called duration [...]; II. Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from its own nature, flows equably without relation to anything external, and by another name is called duration [...]; III. Place is a part of space which a body takes up, and is according to the space, either absolute or relative [...]; IV. Absolute motion is the translation of a body from one absolute place into another/r.”

satélites de Júpiter” (*Ibid.*, p. 8)¹⁸⁶. Portanto, o tempo absoluto se distingue do relativo por sua uniformidade contínua e simultaneidade absoluta, pois vários fatos distintos podem ocorrer em todos os lugares no mesmo intervalo de tempo, e isto é um fato objetivo. Ademais, os movimentos inerciais são a medida do tempo absoluto:

Em suma, um relógio ideal que mantém o tempo absoluto é simplesmente um relógio inercial: impossível para alcançar na prática, mas acessível a um grau arbitrário de aproximação. Assim, a definição de tempo absoluto de Newton é também fundado, conforme suas leis de movimento. E é por isso que, apesar de todas as tradicionais objeções filosóficas, só poderiam ser derrubadas pela introdução de novas leis físicas fundamentais de Einstein (DISALLE, 2002, p. 39)¹⁸⁷.

O que distingue o espaço absoluto do relativo é sua propriedade imóvel, que torna a ordem de suas partes imutável, pois cada lugar percorrido pelo corpo permanece imóvel e somente o lugar relativo se move com ele. O espaço absoluto, além de imóvel é homogêneo e infinito, de modo que suas partes estão verdadeiramente em repouso. Mas como o movimento de suas partes é calculado a partir de referências sensíveis, o repouso absoluto não poderá ser calculado a partir dessas referências, pois a necessidade de estabelecê-lo a partir de sua relação com outros corpos, no comportamento do sistema solar, o movimento inercial não poderá ser observado. Apenas o repouso relativo tem em si essa propriedade. Newton tem consciência disto:

E, portanto, é possível que nas regiões remotas das estrelas fixas, ou talvez muito além possa haver algum corpo em repouso absoluto; mas como é impossível saber, a partir das posições dos corpos uns com relação aos outros nas nossas regiões, se qualquer um deles mantém a mesma posição com relação àquele corpo remoto, conclui-se que repouso absoluto não pode ser determinado a partir da posição dos corpos nas nossas regiões (NEWTON, 1974, pp. 8-9)¹⁸⁸.

¹⁸⁶ “The necessity of this equation, for determining the times of a phenomenon, is evinced as well from the experiments of the pendulum clock, as by eclipses of the satellites of Jupiter.”

¹⁸⁷ “In short, an ideal clock that keeps absolute time is simply an inertial clock: impossible to achieve in practice, but approachable to an arbitrary degree of approximation. Thus Newton’s definition of absolute time is as well founded as his laws of motion. And this is why, in spite of all the traditional philosophical objections to it, it could only be overthrown by Einstein’s introduction of new fundamental physical laws.” Segundo Disalle (Cf., 2002, p. 34), a teoria geral da relatividade de Einstein possui uma estrutura espaço-temporal semelhante à de Newton, uma vez que postula espaço e tempo como estruturas fixas num sistema de referência, fisicamente objetivas, que possibilita uma investigação empírica também objetiva; assim, Einstein faz uma combinação da Geometria do espaço-tempo com a distribuição da matéria e energia em sua teoria geral da relatividade.

¹⁸⁸ “And therefore as it is possible, that in the remote regions of the fixed stars, or perhaps far beyond them, there may be some body absolutely at rest; but impossible to know, from the position of bodies to one another in our regions, whether any of these do keep the same position to that remote body, it follows that absolute rest cannot be determined from the position of bodies in our regions”.

A experiência do balde, então, é uma tentativa de explicar fisicamente como se dá o movimento absoluto, no espaço imóvel: “a subida da água mostra seu esforço de se afastar do eixo de seu movimento; o movimento circular verdadeiro e absoluto da água, que aqui é diretamente contrário ao relativo, torna-se conhecido e pode ser medido por este esforço” (NEWTON, 1974, p. 10)¹⁸⁹. Essa explicação traz em si a aplicação da lei de inércia que também determina esse esforço. Mas “a definição de inércia incorporada no corolário é a mesma que se encontra na Definição XV de *De gravitatione*” (McGUIRE, 1996, p. 107)¹⁹⁰. No momento em que a água começa a subir, tem-se a observação de que esse esforço, que é uma ação da força centrífuga, só ocorre na rotação, sendo que, se houver um movimento de translação no balde d’água, esse esforço não irá se alterar, isto porque, segundo Newton, esse esforço ou o movimento absoluto não pode ser definido pela translação (1974, p. 11). Ou seja, o movimento verdadeiro, absoluto foi observado a partir da aplicação da lei inércia e da força centrífuga, tornando assim sua determinação Física possível. Onde termina o movimento relativo da água, começa seu esforço para se deslocar do eixo, isto é, sua inércia e a força com a qual se chega à determinação do movimento absoluto.

As objeções que se voltam contra Newton para refutar os conceitos de tempo, espaço e movimentos absolutos giram em torno de uma questão particularmente comum: a ausência de experimento que comprove fisicamente esses conceitos. O modo como Newton define a Filosofia Natural também contribui para que essas objeções sejam formuladas, exigindo a experiência como critério científico, o que basicamente define a ciência newtoniana.

Conforme o que foi discutido mais acima, o conceito de tempo absoluto encontra seu correspondente empírico quando nele se aplica o critério da simultaneidade e a lei de inércia, com o chamado relógio inercial evocado por Disalle, mesmo que seja uma determinação arbitrária do tempo absoluto. De forma semelhante, a experiência do balde é um bom exemplo da aplicação da lei de inércia para que o movimento absoluto possa ser determinado pela rotação da água e pela ação da força centrífuga. Já o espaço absoluto continua a ser um conceito para o qual Newton não consegue oferecer uma determinação Física porque sua definição depende da existência de um corpo que esteja em repouso absoluto. A noção de lugar inicial é, portanto, uma boa explicação para o movimento de translação que, ao

¹⁸⁹ “This ascent of the water shows its endeavor to recede from the axis of its motion; and the true and absolute circular motion of the water, which is here directly contrary to the relative, becomes known, and may be measured by this endeavor.”

¹⁹⁰ “The definition of inertia embodied in the corollary is the same as that to be found in Definition XV of *De gravitatione* (sic).”

completar seu circuito, retorna ao seu lugar inicial: “É de sua essência ou natureza que elas sejam lugares, e é absurdo dizer que os lugares iniciais das coisas sejam móveis. Esses, portanto, são os lugares absolutos, e as translações a partir desses lugares são os únicos movimentos absolutos” (NEWTON, 1974, p. 8)¹⁹¹. É legítimo o esforço de Newton em explicar a natureza do espaço absoluto, a partir do lugar inicial da translação, mas essa explicação é mais lógica do que necessariamente física. Com isso, pode-se sim atribuir causas físicas ao tempo e ao movimento absolutos, mas ao espaço não se pode porque, em sua estrutura, o repouso absoluto é exigido e, em si mesmo, é inacessível aos sentidos.

A partir do próximo capítulo, dar-se-á início no exame do método cartesiano ao mostrar o esforço de Descartes em executar o método de análise e síntese pela confiança nas operações matemáticas para explicar o fenômeno luminoso. Esse esforço se revela na crença de poder de colocar em prática a ordem e medida, operações essenciais da matemática, na física óptica. A *Regras*, como obra pedagógica, ajuda a identificar essas operações como regras de pensamento pela chamada *mathesis universalis*, que é a disciplina universal do pensamento rigoroso para Descartes.

¹⁹¹ “It is from their essence or nature that they are places; and that the primary places of things should be movable, is absurd. These are therefore the absolute places; and translations out of those places, are the only absolute motions.”

PARTE III: O MÉTODO NA FÍSICA ÓPTICA DE DESCARTES E NEWTON

CAPÍTULO 5 - O método de análise e síntese na *Dióptrica* de Descartes

O rigor do pensamento cartesiano, em seu entusiasmo mais otimista, se desdobra na confiança plena das principais operações mentais, intuição e dedução, pois a mente pura e atenta, sob essa perspectiva, é o que conduz o pensamento no caminho das certezas indubitáveis. Essa confiança é mais do que uma crença, é uma determinação Matemática na orientação do pensamento e que sustenta o conhecimento a partir das coisas mais simples e fáceis de conhecer até chegar às mais complexas. A partir da ordem e da medida, que são os principais operadores matemáticos, se têm a garantia da certeza. O método cartesiano, como um todo, é essencialmente matemático e isto se define não só nas *Regras para a direção do espírito*, mas também no *Discurso do método*, onde a “ordem” necessária é considerada a essência do método a partir da qual se chega à “medida”.

Neste capítulo, o método de análise e síntese é examinado no interior da *Dióptrica*, obra em que a investigação do fenômeno luminoso é paulatinamente engendrada pela ordem necessária para nela se identificar as etapas essenciais do método cartesiano. Em princípio, as *Regras para a direção do espírito* é um excelente guia didático porque são nelas que Descartes nos ensina o modo como as operações mentais devem se organizar na busca da verdade, numa estrutura metódica e sistemática que busca a unidade no conhecimento.

Além disso, o *Discurso do método*, prefácio dos seus ensaios científicos - *Geometria*, *Dióptrica* e *Meteoros* -, apoia-se na ideia segundo a qual o método de análise e síntese é pensado e dirigido como um caminho capaz unificar as ciências. Esta pretensão faz com que Descartes oriente seu método numa direção epistêmica universal, capaz de tratar diferentes objetos das ciências, seguindo os mesmos passos da ordem necessária para a construção do conhecimento. Se, por um lado, o exame da *Dióptrica* nos permite compreender o modo como as etapas do método funcionam, por outro lado, pode-se identificar que toda sua construção

esquemática também se expressa no exame do arco-íris, assim aplicado no Discurso VIII dos *Meteoros*¹⁹².

Para iniciar, então, uma investigação exegética na *Dióptrica* de Descartes, far-se-á um estudo propedêutico sobre o método de análise e síntese, no raciocínio matemático, para que se possa iniciar, mais adiante, uma perspectiva sobre sua aplicação prática no interior da Óptica. Ademais, o *Discurso do método* enuncia o modo como são explicados os objetos dos seus ensaios. No entanto, a *Dióptrica* nos amplia a compreensão da aplicação do método análise, e, subordinada ao rigor da ordem e medida, coloca o historiador *tête-à-tête* à Matemática, atividade essencial das ciências modernas, mas também se expressa, por comparação, no estofo conceitual dos objetos da experiência sensível.

5.1) O método de análise e síntese no raciocínio matemático

A determinação dos objetos das ciências físicas é indubitavelmente uma classificação da percepção nada fortuita, do movimento que vêm das partes da matéria e que nos causam as mais diversas sensações. No século XVII, já havia um consenso de que as ciências naturais, por terem seus objetos definidos na experiência sensível, precisavam de justificação matemática, uma vez que as determinações das ciências físicas delimitavam à explicação matemática. Descartes, ao pensar no método como “disciplina universal”, somente o pensa a partir da indagação sobre o tipo de conhecimento até então produzido, sem ter fundamento necessário por um sistema rigoroso que deve sustentar a base do edifício do conhecimento.

A busca da verdade, em Descartes, encontra seu significado real no método universal, a partir do qual o encadeamento de certezas, no conjunto de um único sistema matemático, comporta a ordem do mundo. Tal ordem consiste na disposição das coisas naturais que se apresentam aos sentidos, mas que, segundo a ordem do conhecimento, só podem ser explicadas através de uma base segura, segundo a ordem e medida enquanto critérios fundamentais da *mathesis universalis*, que é a disciplina que educa o espírito no caminho reto da verdade. No *Discurso do método*, os preceitos de clareza e distinção, análise, ordem e

¹⁹² A demonstração cartesiana, no fenômeno do arco-íris, foi o objeto de pesquisa de minha dissertação de mestrado e nela fiz um exame das demonstrações, mostrando como as etapas essenciais do método cartesiano se tornam capazes de explicar a gênese da cor. O comportamento da luz, quando atravessa o meio transparente, causando a sensação de cor, não chega a ser examinado na *Dióptrica*, embora o efeito colorido que dele se produz seja definido em termos de movimento. Esta tese, no entanto, tem o objetivo de examinar o uso dessas mesmas demonstrações para mostrar como Descartes chega à descoberta da lei de refração (o que o permitiu explicar o modo como se dá a formação dos arcos coloridos do fenômeno do arco-íris) e demais conclusões sobre o uso dessa mesma lei (Cf. BIAO, 2004).

enumeração, embora não digam tudo, ainda assim resumem adequadamente o conjunto das *Regras da direção do espírito*, apenas para mostrar quais são as principais etapas a se cumprir na construção do edifício do conhecimento¹⁹³. Essas regras buscam a exatidão matemática, na construção do conhecimento, e por isto orientam o pensamento a seguir na direção da certeza para a validação epistêmica daquilo que se quer conhecer. A certeza, portanto, é uma garantia da disciplina universal que, em Descartes, toma emprestado o que há de melhor da Álgebra e Geometria para assim uma corrigir os defeitos da outra, pois aqueles que buscam “[...] o reto caminho da verdade não devem se ocupar de nenhum objeto acerca do qual não possam ter uma certeza igual à das *demonstrações* da aritmética e da geometria” (DESCARTES, 1999, p. 42; grifo meu)¹⁹⁴. O método, então, busca a certeza na exatidão matemática, que orienta o pensamento no caminho reto da razão. Portanto, clareza e distinção formam o critério de certeza, que tira do caminho da verdade tudo o que há de confuso e obscuro:

Mas se o método explica bem como se faz o uso da intuição para não cairmos no erro contrário à verdade, e como é necessário fazer deduções para chegarmos ao conhecimento de todas as coisas, nada mais se requer, parece-me, para que seja completo; pois não se pode obter ciência alguma, como já disse, se não é por intuição ou dedução (*Ibid.*, p. 47)¹⁹⁵.

Como caminho necessário para a busca da verdade, “[...] a ordem segundo a qual o método recomenda conduzir sua razão é aquela que vai do simples ao complexo, no sentido onde a ordem dos números vai da unidade ao múltiplo” (CAHNÉ, 1980, p. 159)¹⁹⁶. Ou seja, deve-se conduzir o pensamento numa ordem progressiva e direta, àquela que vai do conhecido ao desconhecido, da conexão da evidência como critério de verdade capaz de dar

¹⁹³ Na seção 3.1 do Capítulo 3, esses preceitos estão definidos a fim de que se possa compreender a essência da Filosofia cartesiana. Nesta seção, porém, o objetivo é mostrar que esses preceitos tiveram origem nas *Regras*, obra em que Descartes detalha minuciosamente as etapas de seu método.

¹⁹⁴ “[...] le droit cherche le chemin de la vérité ne doivent s’occuper d’aucun objet, dont il ne puissent avoir une certitude égale à celle des *démonstrations* de l’arithmétique et de la géométrie” ; Descartes aqui enfatiza a certeza matemática como condição fundamental para a conquista da verdade. Por isto, como será mostrado mais adiante, o significado de demonstração ocupa lugar central na interpretação do método cartesiano, para que com ele não sejamos seduzidos a confundir o papel da ordem necessária, tanto na condução do raciocínio analítico quanto do sintético.

¹⁹⁵ “Mais si la méthode explique bien comment il faut se servir de l’intuition, pour ne pas tomber dans l’erreur contraire à la vérité, et comment il faut faire des déductions, pour parvenir à la connaissance de toutes choses rien d’autre n’en est requis, me semble-t-il, pour qu’elle soit complète, puisque aucune science ne peut exister, ainsi qu’il a déjà été dit, si ce n’est par intuition ou par déduction”.

¹⁹⁶ “L’ordre selon lequel la méthode recommande de conduire sa raison est celui qui va du simple au complexe, au sens où l’ordre des chiffres va de l’unité au multiple.”

origem à dedução e suas conexões¹⁹⁷. Segundo a Regra XVII, quando a ordem direta não é possível, isto é, quando não se pode deduzir verdades a partir da intuição das coisas mais simples e fáceis de conhecer, para então se chegar as coisas mais complexas, é preciso conectar suas proposições complexas às mais simples ao supor conhecido o que é desconhecido; assim, a inversão dos passos da ordem direta permite a conexão das proposições complexas por dedução da ordem indireta (Cf. DESCARTES, 1999, p. 111-112).

Na seção 3.1 do Capítulo 3 desta tese, discutiu-se dois tipos de demonstrações em Descartes: *a priori* e *a posteriori*. Ambas as demonstrações lá colocadas estão inseridas no contexto da execução prática da prova da existência de Deus que, nas *Meditações*, mostram como o método de análise foi aplicado na Metafísica. Aqui, esses dois tipos de demonstrações tornam evidentes a disposição da ordem direta e indireta, mas na sua execução Matemática, ainda que sua importância não se faça explícita na *mathesis universalis*, condição para condução do pensamento claro e distinto. Não que seja a execução prática do método de análise menos importante naquela ocasião, mas aqui se busca apresentar seu significado conceitual para se pensar a síntese, como etapa apropriada, da produção do conhecimento de fenômenos complexos assim inseridos na Óptica cartesiana. O mais necessário a se compreender no momento é que os objetos da Metafísica são de natureza simples, e por isto dispensam o uso da demonstração sintética, ao passo que, na Física, seus objetos podem ser tão complexos quanto obscuros pelos sentidos, exigindo assim demonstrações geométricas. Do ponto de vista da Matemática, cuja ordem e medida são critérios fundamentais para a garantia da certeza, cabe aqui esclarecer o duplo significado de demonstração e assim definir seu lugar no interior da análise.

Há, no *Discurso*, a breve passagem em que Descartes define seu método como método de análise. De forma geral, o método cartesiano pode ser denominado como método de análise-síntese, razão pela qual se reúnem nele várias etapas, com caminhos distintos, em sua totalidade. Pappus e Diofanto, matemáticos da tradição grega, são citados na Regra IV como praticantes da verdadeira Matemática. O primeiro traz a referência da Análise Geométrica, e o segundo, da Álgebra, disciplinas com as quais a correção dos defeitos de uma pela outra se torna fundamental para a composição do método cartesiano. Apesar de o método ser mais conhecido como método de análise, pode-se dizê-lo que é antes um método de análise-síntese,

¹⁹⁷ A evidência, como critério de verdade, já é enunciada na Regra III, cuja importância se faz ver na sequência da operação mental, a dedução, permitindo a conexão de seus elos dedutivos para reter na memória aquilo que não se pode apreender num só golpe de vista.

pois a presença, tanto de Pappus quanto a de Diofanto, mostra que o conhecimento é conduzido pelo caminho de análise e síntese, tipos de demonstração densamente discutidos nas *Segundas Respostas* e confundidas quando não se observa sua execução prática em vários contextos da prática científica¹⁹⁸.

A análise consiste na divisão de dificuldades de um problema complexo, do qual nos falta clareza para determinar sua distinção. Sendo assim, a divisão do problema é o que nos permite enxergar cada uma de suas partes, e, a partir disto, examiná-las e separar dele o que há de mais confuso e obscuro para se fazer ver a ideia clara e distinta. A dúvida é dissipada, mas o ato de ver com clareza e distinção é o que vai conduzir por ordem o pensamento. A ordem da demonstração orienta o espírito de tal modo, que aquilo que vem depois só pode ser conhecido pelo que veio antes, por conseguinte, o que veio antes não precisa do que vem depois para ser conhecido. É assim que o movimento da intuição e dedução deve operar na mente, e no interior do pensamento, deve conduzir por ordem a demonstração. Portanto, demonstração significa ordem do que vem antes e depois, dando origem as etapas do método de análise-síntese, segundo a ordem e medida como critérios da *mathesis universalis*. Por ser a ordem direta ou indireta, a origem da ordem da invenção e do conhecimento é assim concebida. Como se vê, a palavra “ordem” é o que determina decisivamente o método cartesiano, cuja essência dispõe da firmeza voluntária na resolução do problema: “a ‘verdadeira ordem’, que é o caminho que conduz a verdade no mundo do conhecimento, é o preço de uma *atenção* firme que evita queimar as ‘etapas’ necessárias ao subir para as coisas complexas (CAHNÉ, 1980, p. 161; grifo do autor)¹⁹⁹.”

Na Física cartesiana, entretanto, nem sempre é possível identificar com clareza a disposição dessas ordens, mas esta é uma dificuldade que exige muita precaução, pois situações de aparência ambígua, na definição de “demonstração”, fazem com que o chamado círculo lógico seja a fonte de muita confusão. Primeiramente, deve-se esclarecer que, sendo a ordem a definição essencial para a compreensão do método cartesiano, uma articulação com interlocuções importantes é fundamental para se ampliar o significado de análise:

Com efeito, a demonstração analítica, que se localiza sobre o ponto de vista da *ratio cognoscendi* [a ordem da invenção], e que consiste em

¹⁹⁸ Como foi dito antes, sua execução científica foi examinada no caso do arco-íris, mas agora se coloca em questão sua execução prática na *Dióptrica*.

¹⁹⁹ “Le ‘vrai ordre’, qui est le chemin qui mène à vérité dans le monde de la connaissance, est au prix d’une *attention* soutenue qui évite de brûler des « étapes » nécessaires lors de l’élévation vers les choses complexes”.

inventar os *conhecimentos* verdadeiros de tal modo que eles nos aparecem como necessários e certos, tende a colocar fora do eu *realidades* que tendem a se dispor, do ponto de vista de sua *ratio essendi* [a ordem das coisas], segundo a ordem sintética de sua dependência em si (GUEROULT, I, 1953, p. 27; grifo do autor)²⁰⁰.

Em sua análise, Gueroult faz o alerta contra o perigo de se fazer interpretação equivocada sobre a definição de demonstração, sem que antes as condições de certeza mostrem sua relação de dependência com a realidade das coisas. No plano metafísico, Gueroult se refere à construção de um conhecimento a partir do *cogito*, mas que teve sua ordem alterada pela “ordem da invenção”, pois a dedução depende de um ponto de partida que só foi determinado pela suposição do Gênio Maligno, lá nas *Meditações*. Mas não se pode confundir “ordem da invenção” com “ordem do conhecimento”, por aquele simular uma ordem direta, quando na verdade é indireta. Entenda-se que, por “ordem do conhecimento”, o princípio já foi estabelecido para assim deduzir os efeitos que dele se produz. A “ordem da invenção” é a ordem do que se define na Regra XVII:

[...] Então agora, se tivermos a intuição da dependência recíproca de cada proposição, sem que a ordem seja interrompida em parte alguma, de modo que possamos inferir de como o último depende do primeiro, passamos pela dificuldade diretamente; se, ao contrário, pelo que sabemos, a primeira e última proposições estão ligadas entre si de uma certa forma, queríamos deduzir quais são os intermediários que as unem, seguiríamos uma ordem *indireta* e *inversa*. Porém, como estamos lidando apenas com questões complicadas, onde começamos dos extremos que são conhecidos para chegar, em ordem inversa, ao conhecimento dos intermediários, todo o artifício será supor conhecido o que é desconhecido, de modo a nos dar um caminho fácil e *direto* de investigação, mesmo nas dificuldades mais confusas (DESCARTES, 1999, p. 112; grifo meu)²⁰¹.

²⁰⁰ “ En effet, la démonstration analytique, qui se place au point de vue de la *ratio cognoscendi* et qui consiste à inventer les *connaissances* vraies de telle façon qu’elles nous apparaissent comme nécessaires et certaines, aboutit à poser hors de moi des *réalités* qui tendent à se disposer, au point de vue de leur *ratio essendi*, selon l’ordre synthétique de leur dépendance en soi” ; O próprio Gueroult já define a *ratio cognoscendi* como a inversão dos passos que conduz a verdade, o que pressupõe interpretar que a “ordem da invenção” seja a tradução mais apropriada para a expressão em latim, já que *cognoscendi* é o gerúndio do verbo *cognoscere* e coloca em movimento aquilo que a razão precisa conhecer, mas ainda não conhece. Dessa forma Gueroult nos mostra que a invenção é a principal operação da demonstração analítica, de acordo com a definição que o próprio Descartes fornece nas *Segundas respostas*. De tal maneira, a *ratio essendi* diz respeito a “ordem das coisas” desconhecidas que só podem ser deduzidas de princípios verdadeiros, portanto já conhecidos, assim como Descartes determina, no conhecimento *a priori*, a partir da qual a ordem sintética opera para demonstrar como os efeitos dependem das causas.

²⁰¹ “[...] Maintenant donc, si nous avons l’intuition de la dépendance réciproque de chaque proposition, sans que l’ordre soit nulle part interrompu, en sorte que nous pouvons inférer de là comment la dernière dépend de la première, nous parcourons la difficulté directement ; au contraire, si, de ce que nous savons que la première et la

Deste modo, ver-se-á a ordem indireta simular a ordem direta, onde os princípios verdadeiros do conhecimento dão início à dedução, na direção da ordem natural do conhecimento. O *cogito*, enquanto constatação, tende a colocar para fora de si a realidade das coisas que se pretende conhecer, ou, como Gueroult denomina, para a *ratio essendi* e assim conduzir a ordem natural do conhecimento objetivo.

Sejam físicas ou metafísicas, a realidade de seus objetos deve ser submetida ao escrutínio da razão que, na ordem da invenção, fornece o caminho para o conhecimento verdadeiro e para com ele conduzir os passos da demonstração sintética. De tal maneira, “[...] em Geometria, fazeis uma quantidade de hipóteses que não enfraquecem a força das demonstrações, embora muitas vezes, na Física, tenhais uma outra ideia sobre a natureza dessa quantidade” (DESCARTES, 1999, p. 76)²⁰²; portanto, a ordem da invenção em nada altera o resultado da demonstração, mas antes determina previamente os passos que irão conduzir a demonstração sintética.

Seguindo a ordem da invenção, suposições ou analogias são introduzidas exaustivamente por Descartes em seus ensaios científicos. Na *Dióptrica*, a suposição se define por hipóteses ou comparações entre situações simples e complexas, a ponto de envolver a experiência sensível, reduzida por analogia, à posição de ponto de partida que, se não for claro e distinto, deve-se supor que o seja. Supondo conhecido o que é desconhecido, seja por hipótese ou comparação, invertem-se os passos da ordem da demonstração. Contudo, compreender a Geometria analítica em suas origens deve nos ajudar a evitar esse perigo segundo o qual Gueroult nos alerta para não cair na tentação de confundir círculo lógico com ordem analítica e ordem sintética. Desta tentação, brota em Loparic (1997, p. 130) o objetivo de criticar a tese do modelo euclidiano que, segundo ele, é defendido por Gueroult: “As *Seis Meditações* não passam de uma réplica Metafísica dos *Quinze Livros* dos *Elementos* de Euclides” (1953, II, p. 288)²⁰³. Mas não se deve perder de vista, porém, que Gueroult pretende esclarecer que há dois tipos de demonstração em Descartes, análise e síntese, que são essencialmente matemáticos. Os conceitos matemáticos estão em movimento constante, no

dernière proposition sont liées entre elles d’une manière certaine, nous voulions déduire quels sont les intermédiaires qui les unissent, nous suivrions un ordre indirect et inverse. Or, comme nous ne nous occupons ici que de questions enveloppées, où l’on part des extrêmes qui sont connus pour arriver en suivant un ordre inverse à la connaissance des intermédiaires, tout l’artifice sera de supposer connu ce qui est inconnu, de manière à nous donner un moyen facile et direct de recherche même dans les difficultés les plus embrouillées”.

²⁰² “[...] en géométrie vous faites sur une quantité des hypothèses qui n’infirmant d’aucune manière la force des démonstrations, bien que souvent en physique vous ayez une autre idée sur la nature de cette quantité”.

²⁰³ “Les *Six Méditations* ne sont que la réplique métaphysique des *Quinze Livres* des *Éléments* d’Euclide”.

interior das *Meditações*, sob o comando da invenção geométrica, mas, nem com isso, é possível afirmar que o modelo euclidiano é o que defende Gueroult. Primeiramente, nas *Segundas respostas*, lugar onde se define análise e síntese, mostram que seus caminhos são distintos e exatamente por isso não há como defender o círculo lógico nas demonstrações. Mas Descartes busca mostrar, para satisfazer a exigência de certos filósofos, como é possível provar a existência de Deus pela síntese dos geômetras:

Entretanto, para testemunhar o quanto desejo seu conselho, tratarei aqui de imitar a síntese dos Geômetras e será um resumo das principais razões das quais eu uso para demonstrar a existência de Deus e a distinção que está entre o espírito e o corpo humano: o que talvez não sirva para aliviar a atenção dos Leitores (DESCARTES, AT, IX-1, 1973, pp. 123)²⁰⁴.

A partir disto é possível situar o que realmente Gueroult defende, a saber a *ratio cognoscendi* e a *ratio essendi*, segundo as quais a ordem da invenção, que determina o *cogito*, é a condição fundamental para se determinar a ordem das coisas, sobretudo por evocar a demonstração analítica para a compreensão da ordem das verdades nas *Meditações* (Cf. GUEROULT, 1953, I, p. 25). O que Loparic perdeu de vista foi a análise gueroultiana sobre a Metafísica cartesiana, segundo a ordem das razões, ou melhor, segundo a ordem das demonstrações. É lá que Gueroult faz ver que as *Meditações* fazem demonstrações rigorosamente analíticas. Mas, com as exigências de seus interlocutores, Descartes, nas *Segundas respostas*, faz uma demonstração sintética, com aparência dos *Elementos* de Euclides (Cf. DESCARTES, AT, IX-1, 1973, pp. 124-132)²⁰⁵. Observe que demonstrações no estilo euclidiano têm forte apelo à imaginação e aos sentidos:

Se as noções das quais tratam pudessem, como os conceitos de Geometria, basear-se na imaginação, em vez de serem frustradas por ela, as *Seis Meditações* seriam elas mesmas apenas como aqueles Livros de Euclides. Mas o espírito humano, obrigado a retomar o fio da inteligência para romper, por um poderoso esforço, o encanto contrário e pernicioso da imaginação e dos sentidos, deve supor, ao processo racional de demonstração, que visa convencer, um processo psicológico de ascese intelectual, que visa persuadir. Daí o duplo aspecto do empreendimento, que é, por um lado, a Geometria Metafísica à maneira de um Euclides moderno e, por outro, a elevação espiritual à maneira

²⁰⁴ “ Mais neantmoins, pour témoigner combien ie déferè à vofre confeil, ie tacheray icy d'imiter la fyn|thefe des Géomètres, & y feray vn abrégé des principales raifons dont i'ay vfe pour démontrer l'exiftence de Dieu, & la diftinction qui eft entre l'efprit & le corps humain : ce qui ne feruira peut-efre pas peu pour foulager l'attention des Lecteurs.”

²⁰⁵ Descartes faz demonstração onde diz imitar a síntese dos geômetras.

dos neoplatônicos, de Plotino e de Santo Agostinho (GUEROULT, 1953, II, p. 288)²⁰⁶.

Nesse apelo, observa-se que “a Geometria Metafísica à maneira de um Euclides moderno” é aquela das *Segundas respostas*, onde Descartes se vê compelido a fazer demonstração à maneira dos geômetras antigos. Para desfazer a confusão, a ordem das demonstrações mostra como se dá o encadeamento do método de análise para alhures determinar os passos da síntese. É importante ressaltar que o movimento da *ratio essendi*, ou seja, das coisas desconhecidas que só podem ser demonstradas pelas conhecidas verdadeiramente, é consequência da *ratio cognoscendi*, que inverteu antes os passos da ordem natural do conhecimento, suponho conhecido o que é desconhecido. Assim sendo, segundo o exame das dificuldades, a *ratio cognoscendi* é o que conduz os passos da demonstração analítica. Descoberto o que é desconhecido, a demonstração analítica dá início à demonstração cujos passos seguem a ordem natural do conhecimento, isto é, quando a *ratio essendi* passa a ordenar a operação segundo a qual a dedução deve partir dos princípios às consequências, da causa aos efeitos, na ordem sintética. Nem por isso pode-se dizer que, sendo encontrada a coisa buscada, seguir-se-ão os passos da demonstração sintética, em especial, quando consideram-se as descobertas obtidas no interior da *Meditações*. Se isto fosse uma consequência necessária, não seria razoável considerá-la realizável nas *Segundas respostas*, ao passo que já estaria demonstrada nas *Meditações*, o que Descartes dispensou, pois a natureza simples de seus objetos metafísicos não requer esse tipo de constrangimento. Segue-se então a necessidade de se examinar as origens da Geometria analítica de Descartes para que se possa inferir, com maior precisão, de qual modo a combinação entre álgebra e Geometria permite corrigir os defeitos de uma pela outra, e disto será possível identificar os reais passos da demonstração analítica e sintética.

Na Regra IV, Descartes enuncia que “o método é necessário para a procura da verdade” (1999, p. 46-51). Ainda que o método tenha por essência a ordem necessária para conduzir o conhecimento, intuição e dedução são operações mentais essenciais nas manifestações racionais do pensamento em busca da verdade. Sendo o raciocínio matemático

²⁰⁶ “ Si les notions dont elles traitent pouvaient, comme les concepts de la géométrie s'appuyer sur l'imagination, au lieu d'être contrariées par elle, les *Six Méditations* ne seraient elles-mêmes que de Livres comme ceux d'Euclide. Mais l'esprit humain, obligé, ressaisir le fil de l'intelligence de rompre par un puissant effort de charme contraire et pernicieux de l'imagination e des sens, doit supposer au processus rationnel de démonstration, qui vise convaincre, un processus psychologique d'ascèse intellectuelle, qui vise persuader. D'où le double aspect de l'entreprise, qui est, sous une face, géométrie métaphysique à la façon d'un moderne Euclide, et sous l'autre, élévation spirituelle à la façon des néo-platoniciens, de Plotin et de saint Augustin.”

guiado por essas operações, Descartes busca, na verdadeira Matemática de Pappus e Diofanto, a *mathesis universalis* para elevar o grau de conhecimento a partir da álgebra e Geometria.

Mas a álgebra cansa a mente com seus múltiplas cálculos, a Geometria cansa a imaginação com suas figuras geométricas. Com a integração dessas duas disciplinas, Descartes percebe a necessidade real de tornar evidente o avanço teórico que as estruturas da Álgebra e Geometria são capazes de trazer para seu método de análise. Do ponto de vista de seu uso técnico, a álgebra, como arte de resolver problemas, consiste em estabelecer relações que vão além da ordem e da medida:

O que isso tem a ver com análise? É o que surge agora, a busca por um método que determine *até que ponto e por quais meios* resolver todos os *problemas* em geral, a ideia de uma certa correspondência entre a causa ou a razão teórica e o efeito prático, ou entre o princípio e suas consequências: muitas vezes se contenta em dizer que a álgebra, manuseando proporções, pede a medida, o primeiro pilar da *mathesis universalis*, e finalmente a ordem, o segundo pilar dessa disciplina e a única base do método. Mas isto é para não se ter em conta que a própria ideia de proporção se baseia no princípio de uma relação *reversível* entre um antecedente e um conseqüente, uma relação que já está presente na instituição cartesiana de álgebra, e que encontraremos até nos ramos mais altos da "árvore" da sabedoria, como a *moralidade* (TIMMERMANS, 1995, p. 88-89; grifo do autor)²⁰⁷.

Observa-se que a reversibilidade da análise é um dos passos em que a álgebra se mostra importante no processo de redução dos problemas complexos. Do ponto de vista gueroultiano, ela é regressiva, pois inverte os passos da ordem natural do conhecimento, entretanto, esses passos invertidos são reversíveis, pois coloca em correspondência o conhecido ao desconhecido, ou mais do que isto, faz a conexão entre a coisa buscada e verdade encontrada, entre os objetos mais complexos e os mais simples de conhecer. A ordem natural, portanto, depende dos princípios conhecidos verdadeiramente e, diante de um problema complexo, a álgebra vai auxiliar o raciocínio nas relações existentes entre as coisas redutíveis e reversíveis de um problema.

²⁰⁷ “Quel rapport avec l’analyse? C’est que surgit déjà, à peine amorcée la quête d’une méthode qui détermine *jusqu’où et par quels moyens* résoudre tous les *problèmes* en général, l’idée d’une certaine correspondance entre la cause ou la raison théorique et l’effet pratique, ou entre le principe et ses conséquences : on se contente trop souvent de dire que l’algèbre, maniant des proportions, appelle la mesure, premier pilier de la *mathesis universalis*, et finalement l’ordre, deuxième pilier de cette mathesis et fondement unique de la méthode. Mais c’est manquer le fait que l’idée même de proportion repose sur le principe d’une relation *réversible* entre un antécédent et un conséquent, relation qui est déjà présente dans l’institution cartésienne de l’algèbre, et qu’on retrouvera jusqu’aux plus hautes branches de “l’arbre” de la sagesse, *telle la morale*”.

Na *Geometria*, Descartes mostra como as equações são úteis na redução de um problema: “Igualmente querendo resolver algum problema, devemos primeiro considerá-lo como já feito e dar nomes a todas as linhas que parecem necessárias para construí-las, bem como para aqueles que são desconhecidos para outros (1976, VI, p. 372)”²⁰⁸. Dadas as determinações das grandezas dos termos desconhecidos, suas relações ficam conectadas por termos intermediários, mesmo que seu artifício seja supor conhecido o que é desconhecido. Para Timmermans (1995, p. 95), a equação é o que fundamenta a *Geometria*, pois é nela que Descartes mostra como se faz a conexão entre conhecido e desconhecido, como também mostra como ele resolve o problema de Pappus ao classificar as curvas. O que realmente comanda o raciocínio, na direção de um conhecimento progressivo, é a equação como artifício do método da invenção ou da descoberta: “a equação se revela indispensável quando a via a seguir para descobrir o desconhecido é indireta, isto é, quando denominamos a ordem que conduz o conhecido ao desconhecido, longe de ser ‘interrompida em lugar algum’, é apenas conhecido em uma certa maneira” (*Ibid.*, p. 95; grifo do autor)²⁰⁹. Esta maneira está ao lado do uso prático das suposições segundo a ordem necessária da descoberta e a partir dela se prepara o caminho do conhecimento progressivo.

Seguindo sua ordem necessária, o método de análise tem, por definição, seu modo particular de demonstrar, mas esta definição, porém, não aparece tão claramente como gostaríamos. Muitas vezes a encontramos de forma enigmática e dispersa, no interior da obra, mas, tendo por base a disciplina matemática das *Regras*, pode-se ter uma percepção cognitiva do método, o que faz orientar a estrutura própria do método de análise. Somente ao ser acusado de fazer círculo lógico por seus objetores é que Descartes passa a abrir o caminho para se fazer compreender o que é demonstrar. Pode-se ver, entretanto, como foi dito mais acima, que o significado da ordem, que permite a medida, é particularmente a base da definição de demonstração.

Primeiramente, ao ser objetado por não fazer demonstração geométrica nas *Meditações*, Descartes diz que isso é possível, porém desnecessário, pois as *Meditações*, que são compostas de termos simples e fáceis de conhecer, estão no domínio da Metafísica, cujos objetos são facilmente examinados pela análise, que dispensa a síntese por não compor a

²⁰⁸ “Ainsi, voulant refondre quelque problème, on doit d’abord le confiderer comme defia fait, & donner noms a toutes les lignes qui semblent neceffaires pour le couftruire, auffy bien a celles qui font inconnues qu’aux autres”.

²⁰⁹ “L’équation se révèle indispensable lorsque la voie à suivre pour découvrir l’inconnue est *indirecte*, c’est-à-dire, rappelons-le, lorsque l’*ordre* qui mène du connu à inconnu, loin d’être ‘nulle part interrompu’, n’est connu qu’ ‘en une certaine manière’[...]”.

estrutura de um tipo de conhecimento mais complexo, como é o caso da Física e da Matemática (Cf. DESCARTES, IX, 1975, p. 122). A estrutura da invenção é analítica e reconhecida por uso de suposições e analogias, e se deve observar que reconhecer o lugar das demonstrações evita o risco de confundir análise e síntese ou de inferir que há círculo lógico no método cartesiano. Na Regra II, por exemplo, a apologia à Aritmética e Geometria torna evidente o significado matemático da demonstração:

De tudo isso se deve concluir que não é verdade que é necessário apenas aprender aritmética e Geometria, mas apenas aqueles que buscam o caminho da verdade não devem se ocupar de qualquer objeto do qual não possam ter uma certeza igual àquela das demonstrações da aritmética e da Geometria (DESCARTES, 1999, p. 42)²¹⁰.

A ordem necessária pressupõe o próprio rigor da demonstração, seja por redução, resolução, construção ou prova²¹¹. Esses conceitos estão definidos nas *Regras* e na *Geometria*, o que não se permite confundir o caráter essencialmente matemático das demonstrações. Como foi mostrado mais acima, a equação é o objeto matemático que apoia Descartes no procedimento de redução, onde a análise “mostra como uma coisa foi metodicamente descoberta”, mas a síntese é o que “arranca o consentimento do leitor obstinado e opiniático”. E dessa forma Descartes esboça sua insatisfação com a síntese dos geômetras antigos que, nessa perspectiva, ignoram o procedimento de análise (Cf. DESCARTES, IX, 1975, pp. 121-122). Ao considerar desnecessária a demonstração sintética das *Meditações*, é importante ter em vista que a síntese é um caminho persuasivo e também não demonstra como conquistou seus princípios, mas “[...] o modo analítico associa autor e leitor à liberdade de uma invenção efetivada ou recriada: a meditação analítica requer atenção e boa vontade, das quais o ritual sintético faz a economia” (BEYSSADE, 2001, p. 195)²¹².

Pois bem, na carta a Morin de 13 de julho de 1638, o conceito de demonstração começa a ganhar um contorno mais teórico, pois somente com a acusação de praticar o círculo lógico é que Descartes torna mais explícito o seu significado:

Dizeis também que *provar efeitos por uma causa depois de provar essa*

²¹⁰ “ De tout cela on doit conclure, non pas, en vérité, qu’il ne faut apprendre que l’arithmétique et la géométrie, mais seulement que ceux qui cherchent le droit chemin de la vérité ne doivent s’occuper d’aucun objet, dont ils ne puissent avoir une certitude égale à celle des démonstrations de l’arithmétique et de la géométrie.”

²¹¹ Aqui se faz referência às etapas do método onde os tipos de demonstração vão circunscrever o próprio significado de análise e síntese.

²¹² “[...] la manière analytique associe auteur [Descartes] et lecteur dans la liberté d’une invention effective ou recrée : la méditation analytique exige attention et bonne volonté, dont le rituel synthétique fait l’économie”.

causa pelos mesmos efeitos é um círculo lógico, o que confesso; mas não confesso por isso que seja um, explicar efeitos por uma causa depois de prová-la por eles: pois há uma grande diferença entre *provar e explicar*. Como acrescento que se pode usar da palavra *demonstrar* para significar um e outro, ao menos se a toma segundo o uso comum, e não na significação particular que os Filósofos lhes dão. Acrescento também que não é um círculo provar uma causa por vários efeitos, que são conhecidos alhures, depois de reciprocamente provar alguns outros efeitos por essa causa. E compreendo esses dois sentidos conjuntamente na página 76 [do *Discurso*] por essas palavras: *Como as últimas razões são demonstradas pelas primeiras, que são suas causas, as primeiras são reciprocamente pelas últimas, que são seus efeitos*. Onde não devo, por isso, ser acusado de falar ambiguamente porque me expliquei incontinentemente depois, dizendo *que a experiência, mostrando a maior parte desses efeitos muito certos, as causas das quais os deduzi não servem tanto para prová-los como para explicá-los, mas que são elas [as causas] que são provadas por eles [efeitos]* (DESCARTES, AT, II, 1975, pp. 198-9; grifo do autor)²¹³.

Ao dizer que o modo de demonstrar é duplo, nas *Segundas Respostas*, Descartes se refere à análise como a etapa que “mostra como os efeitos dependem da causa”, o que significa dizer que é nela que se realiza demonstrações *a priori*; mas quando se trata da síntese, “examinando as causas por seus efeitos”, refere-se a demonstrações *a posteriori*. Observe que sua interlocução com Morin, “explicar” e “provar” são conceitos que determinam o modo duplo de demonstrar. Colocando as suposições no início da demonstração *a posteriori*, se conduz os passos para a explicação dos efeitos, por outro lado, os passos da prova são conduzidos na direção da demonstração *a priori*.

Para compreendermos a distinção entre as demonstrações *a priori* e *a posteriori*, uma breve exposição desses conceitos torna possível examinar o problema que essas expressões trazem quando associadas ao duplo modo de demonstrar, que Descartes denomina de análise e

²¹³ “Vous dites auffi que *prouver des effets par vne cause, puis prouuer cette cause par les mesme effets, est vn cercle logique*, ce que i’auoüe; mais ide n’auoüe pas pour cela que c’en foit vn, d’expliquer des effets par vne cause, puis de la prouuer par eux: car il y a grande difference entre *prouuer & expliquer*. A quoy j’adioute qu’on peut vfer du mot demonftrer pour signifier l’vn & l’autre, au moins si on le prend felon l’vfage commun, & non en la fignification particuliere que les Philofophes luy donnent. L’adjoute auffi que ce n’est pas vn cercle de prouuer vne cause par plufieurs effets qui font connus d’ailleurs, puis reciproquement de prouuer quelques autres effets par cette cause. Et i’ay compris ces deux fens enfemble en page 76 par ces mots: *Comme les dernieres raisons font demonftrées par les premieres qui font leurs cause, ces premieres le font reciproquement par les dernieres qui font leurs effets*. Où ie ne dois pas, pour cela, estre accusé d’auoir parlé ambiguëment, à cause que ie me fuis expliqué incontinent apres, en difant *que, l’experience rendant la pluspart de ces effets tres-certains, les causes dont ie les deduis ne feruent pas tant à les prouuer qu’à les expliquer, mais que ce font elles qui font prouuées par eux*”. “[...] les aftronomes font fouuent des fuppositions qui font cause qu’ils tombent dans de grandes fautes; comme lors qu’ils fupposent mal la paralaxe, l’obliquité de l’Ecliptique, &c”. Nesta passagem, Descartes cita Morin para mostrar o que este entende por suposições. Grifo do autor. DESCARTES, AT, II, 1975, pp. 198-9.

síntese. O texto latino das *Segundas respostas* diz o que segue: “Analyfis veram viam oftendit per quam res methodice & *tanquam* a priori inventa est [...] Synthefis è contra per viam oppofitam | & *tanquam* a posteriori quaeritam (etfi fæpe ipfa probatio fit in hac *magis* a priori quàm in illâ)” (DESCARTES, AT, VII, 1973, pp. 155-6); grifo nosso para atenuar a implicação que a expressão latina traz consigo. Já o texto francês das *Segundas respostas*, revisado por Descartes, mostra como se dá a relação entre conhecimento *a priori* e *a posteriori* com análise e síntese respectivamente:

A análise mostra a verdadeira via pela qual uma coisa foi metodicamente inventada e faz ver como os efeitos dependem das causas [...] A síntese, ao contrário, por uma outra via, como que examinando as causas pelos efeitos (se bem que a prova que ela contém seja também dos efeitos pelas causas (DESCARTES, AT, IX-1, 1973, pp. 121-2)²¹⁴.

Para Alquié (1967, p. 582), a tradução do latim para o francês de Cleselier é incompatível, embora Descartes tenha consentido a tradução, pois ele vê um contra censo formal ao considerar a tradução da análise como *a priori*, que examina o problema a partir das consequências aos princípios, isto é, *a posteriori*. O contra censo consiste na inversão do sentido formal da tradução do procedimento *a priori* e *a posteriori* que, na tradição medieval, deve significar da causa aos efeitos e dos efeitos às causas respectivamente. Para Crombie & Wickes (Cf. 1988, p. 75), a dificuldade do problema consiste na falta de clareza nas expressões latinas *tanquam a priori*, *tanquam a posteriori* e *magis a priori*. Essa dificuldade, porém, é examinada por Battisti (Cf. 2002, p.352) e Beyssade (Cf. 2001, pp.198-9), resolvida de forma mais esclarecedora porque identificam, nessas expressões latinas, seus significados lógico, temporal e de intensidade lógica. Existe, de fato, uma explicação pouco clara sobre os argumentos *a priori*, *a posteriori* e *magis a priori* nas *Segundas respostas*, mas em nada surpreende considerar que Descartes concebe significados diferentes aos procedimentos *a priori* e *a posteriori*, opondo-se à tradição aristotélica de forma ousada. Pode-se ver, portanto, que Descartes já concebia as noções *a priori* e *a posteriori* ao seu modo particular na Regra VI:

²¹⁴ “La analyfe montre la vraye voye par laquelle une chofe a été méthodiquement inuentée, & fait voir | comment les effets dépendent des caufes [...] La fynthefe, au contraire, par une voye toute autre, & comme en examinant les caufes par leurs effets (bien que la preuue qu’elle contient foit fouvent auffi des effets par les caufes).”

O segredo de todo o método consiste em observar atentamente o que há de mais absoluto em todas as coisas. Certas coisas, com efeito, e sob um certo ponto de vista, são mais absolutas que outras, mas, consideradas de outra maneira, são mais relativas [...] porque de fato, entre os filósofos, *a causa e o efeito são coisas correlatas; mas se buscamos nisto qual é o efeito, é necessário primeiramente conhecer a causa, e não fazer o inverso*. As coisas iguais também se correspondem, mas apenas conhecemos as desiguais comparando-as com as coisas iguais, e não inversamente (DESCARTES, 1999, p. 54; grifo nosso)²¹⁵.

Este enunciado sugere uma ordem inversa, o que, de alguma maneira, segue o movimento do raciocínio *a priori*. Quando se supõe que a coisa buscada foi encontrada, sendo ela absoluta, em relação às demais coisas por ela deduzidas, esse movimento é o que imita o raciocínio *a priori*. Quando Descartes diz que as coisas absolutas podem, em outras circunstâncias, ser relativas, refere-se à dedução por hipótese, que reduz o desconhecido ao absoluto para se chegar, pela dedução das coisas relativas, ao que é verdadeiramente mais absoluto de tudo. Nessa ordem necessária, todo o conhecimento deve começar pelo que há de mais simples, ou por aquilo que se suponha que seja. É possível concordar, então, com o argumento de um raciocínio que segue o caminho da ordem temporal, *a priori*, porque a análise vem antes da síntese, mas que, considerando sua ordem lógica, faz o movimento contrário, *a posteriori* porque examina um problema pelo que há de mais relativo, ou seja, a partir das consequências:

Examinemos o parêntese do texto em latim sobre a síntese: indica claramente que, quando encontramos a ordem lógica, a síntese é "*mais*" (*magis*) *a priori*. Não há, portanto, inversão de ordens, mas sim variação de intensidade. [...] análise é *a priori* não só porque é primeiro na ordem temporal, mas também e acima de tudo porque *mostra*, da melhor forma possível, em primeiro lugar, a ordem, que é o verdadeiro princípio *a priori* do conhecimento das coisas (TIMMERMANS)²¹⁶.

Seguindo essa linha de pensamento, o raciocínio só é *a priori*, no sentido temporal, porque o caminho da análise é essencial para mostrar a ordem do que deve vir antes para

²¹⁵ “Le secret de toute la méthode consiste à regarder avec soin en toutes choses ce qu’il y a de plus absolu. Certaines choses en effet, à un certain point de vue, sont plus absolues que d’autres, mais, considérées autrement, elles sont plus relatives [...] car en fait chez les philosophes *la cause et l’effet sont des choses corrélatives ; mais si nous cherchons ici quel est l’effet, il faut d’abord connaître la cause, et non pas faire l’inverse*. Les choses égales aussi se correspondent, mais nous ne connaissons les choses inégales qu’en les comparant aux choses égales, et non inversement, etc.”

²¹⁶ “ Examinons la parenthèse du texte latin concernant la synthèse : elle indique clairement que, lorsqu’on retrouve l’ordre logique, la synthèse “*plus*” (*magis*) *a priori*. Il n’y a donc pas inversion des ordres, mais plutôt variation d’intensité. [...] l’analyse est *a priori* non pas seulement parce qu’elle est première dans l’ordre temporel, mais aussi et surtout parce qu’elle *fait voir*, du mieux qu’elle peut, l’ordre qui est le véritable principe *a priori*, premier, de la connaissance des choses”.

encadear o que vem depois, abrindo um caminho para uma nova ordem, a do conhecimento. Assim sendo, a ordem das coisas vai designar, na análise, o raciocínio *a posteriori*, ao assumir agora seu sentido lógico, pois o raciocínio só é *a priori* quando supõe conhecido o que é desconhecido. Mas o que há de mais absoluto só é conquistado depois. Não há explicitamente uma afirmação clara sobre as ordens lógica e cronológica dos argumentos *a priori* e *a posteriori* em Descartes, mas aqui se pressupõe que ele já possuía essas noções argumentativas, seguindo a ordem do modo duplo de demonstrar. Nesta perspectiva, o sentido da ordem lógica do argumento *a priori*, com origem na tradição medieval, sofre acréscimo em seu conceito, ampliando seu significado para ordem temporal, assim como a ordem temporal do argumento *a posteriori* tem o seu significado ampliado pela ordem lógica. Por isto, a síntese é “*magis*” *a priori* porque, em seu movimento lógico, remonta a intensidade da demonstração que parte da causa aos efeitos, mas que, considerada de outra maneira, pressupõe-se seu lugar temporal, tendo em vista seu desdobramento sequencial que organiza os passos que sucedem as determinações após análise:

O método se resume a buscar em tudo, por análise, o elemento irreduzível e “simples”, ou, no sentido totalmente científico, o “absoluto”. Esse elemento “claro” em si mesmo e “distinto” do restante conduz à “evidência”. Depois disso, é necessário recompor a realidade por síntese, “supondo a ordem [cronológica] mesmo onde não a vemos”. “O segredo do método em consiste procurar tudo o que há de mais absoluto”, e então mostrar como os elementos irreduzíveis, combinados, compõem as outras coisas (FOUILLÉE, 1893, p.40)²¹⁷.

Sendo assim, encontrar-se-á, na expressão *tanquam*, a indicação de que, segundo a ordem das demonstrações, a análise só é *a priori* porque, no sentido cronológico, vem antes da síntese, e que, no sentido lógico, é *a posteriori*, pois sua operação parte dos efeitos às causas, ou das consequências aos princípios. De tal maneira, a expressão *tanquam* identifica a síntese, no sentido cronológico, como um argumento *a posteriori*, porque vem depois da análise, mas que a prova que ela contém é *magis a priori* porque depende dos primeiros princípios conquistadas na análise, seguindo assim sua ordem lógica para deduzir outros efeitos. Quando a análise parte dos efeitos às causas, assume o lugar da “explicação”, seguindo a ordem de demonstração, ao passo que, a síntese, partindo das causas aos efeitos,

²¹⁷ “La méthode se ramène à chercher en tout, par l'analyse, l'élément irréductible et ‘simple’, ou, au sens tout scientifique, l’absolu’. Cet élément ‘clair’ en lui-même et ‘distinct’ du reste entraîne l’ ‘évidence’. Après quoi, il faut recomposer la réalité par synthèse, ‘en supposant de l'ordre là même où nous n'en apercevons pas’. ‘Le secret de la méthode consiste à chercher en tout ce qu’il y a de plus absolu’, puis à faire voir comment les éléments irréductibles, en se combinant, composent les autres choses.”

assume o lugar da “prova” na ordem da demonstração. Encontra-se aí uma ousadia que consiste em Descartes modificar o sentido lógico desses argumentos para determinar os significados de “explicação” e “prova”, se apropriando desses diferentes modos de argumentar para colocá-los num lugar temporal, de tal maneira que o significado da tradição filosófica fica subvertido.

Quando se trata de problemas muito complexos, especialmente nas ciências naturais, a análise assume uma tarefa muito importante, no método como um todo, pois é ela quem liberta a mente das ilusões dos sentidos. Com a execução prática das hipóteses, pressupõe-se a certeza do provável ao possibilitar a dedução e descoberta do desconhecido. A resposta à objeção de Morin mostra a importância dessas hipóteses, sendo elas, tomadas como verdadeiras, tornam-se o ponto de partida para deduções muito certas, mesmo considerando a possibilidade de serem provadas como falsas. Por outro lado, elas nada provam, ainda que possam explicar, pois assumem a tarefa exegética de mostrar, *a posteriori*, como os efeitos dependem das causas. É possível, então, concordar com o seguinte ponto de vista:

[...] o método por hipóteses está relacionado à síntese: em primeiro lugar, porque ele [o método] procede *a posteriori*, considerando as consequências, em segundo lugar (e acima de tudo) porque parece que ele não descobre nada verdadeiramente, mas sim explica ou expõe algo dado ou concedido, examinando seus efeitos (TIMMERMANS, 1995, p127)²¹⁸.

Ao considerar o significado matemático de análise e síntese, conforme foi dito mais acima, não se pode perder de vista o que Descartes encontrou na tradição grega, pois Geometria e aritmética fazem a combinação necessária para a disciplina universal em que o método está apoiado. Basta examinar a interpretação de Pappus sobre a análise e síntese para que se possa enxergar suas raízes e entender o significado da ordem das demonstrações:

A análise é o caminho a partir do que é procurado – considerado como se fosse admitido – passando, na ordem, por seus concomitantes [*τὰ ἀκόλουθα*, usualmente traduzido como ‘consequências’], até algo admitido na síntese. Pois na análise supomos o que é procurado como já tendo sido feito e investigamos aquilo a partir do qual esse algo resulta, e de novo qual é o antecedente deste último, até que, no nosso caminhar para trás, alcancemos algo que já é conhecido e é primeiro na ordem. Chamamos tal método de análise, por ser uma solução de trás para

²¹⁸ “[...] la méthode par hypothèses se rattache à la synthèse: d’abord parce qu’elle procède *a posteriori*, en envisageant les conséquences, ensuite (et surtout) parce qu’elle semble ne rien découvrir véritablement, mais plutôt expliquer ou exposer quelque chose de donné ou de concédé en examinant ses effets.”

diante. Na síntese, por outro lado, supomos já feito aquilo que na análise foi por último alcançado e, arranjando em sua ordem natural, como conseqüentes aquilo que antes era antecedentes, e ligando-os uns aos outros, chegamos no final à construção daquilo que é procurado. E a isso chamamos síntese. Há duas espécies de análise. Uma procura a verdade, sendo chamada teórica. A outra serve para executar o que se desejava fazer, e essa é chamada problemática. Na espécie teórica, supomos a coisa procurada como existente e verdadeira, e então passamos na ordem por seus concomitantes (conseqüências), como se fossem verdadeiros e existentes por hipóteses, até algo admitido; então, se aquilo que é admitido é verdadeiro, o que é procurado é também verdadeiro, e a demonstração será o inverso da análise. Porém, se chegarmos a algo que seria falso admitir, o que é procurado será também falso. Na espécie problemática, supomos o que é desejado como sendo conhecido e então passamos, na ordem, por seus concomitantes (conseqüências), como se fossem verdadeiros, até algo admitido. Se a coisa admitida é possível ou pode ser feita, isto é, se ela for o que os matemáticos chamam de dado, a coisa desejada será também possível. A demonstração será novamente o inverso da análise. Mas se chegarmos a alguma coisa impossível de admitir, o problema também será impossível (PAPPI, I-III, 1876-77, pp. 634-36 *Apud*, HINTIKKA & REMES, 1983, pp. 29-30).

A partir daí, é possível ver que, em Descartes, sua referência interpretativa para uma análise regressiva está fundamentada no caminhar “de trás para a frente”, orientada na Geometria analítica de Pappus, que determina seus objetos matemáticos de demonstração. Esta caminhada, numa linguagem cartesiana, é o que se denomina por “redução”. Segundo Battisti (Cf. 2002, pp. 105-10), o caminhar para trás traduz-se na “análise propriamente dita”, que é o caminho que vai legitimar a etapa redutiva com suas construções auxiliares. Ao supor que a coisa procurada (*zetoumenon*) é encontrada, como o que ocorre na “redução” analítica, trata-se de considerar o dado admitido (*dedomena*) como se fosse conhecido para que as construções auxiliares possam, de fato, encontrar a coisa procurada (*zetoumenon*). Conhecida a coisa procurada, a resolução tem a capacidade de “provar” que o conhecido é independente de suas conseqüências e que por ela se pode validar as construções auxiliares para que seja conduzida a solução do problema na etapa seguinte, que é a “síntese”²¹⁹. Mas ela só é concebida na “construção”, que realiza a composição geométrica definitiva, na medida em que seu “caminhar para frente” pode conduzir a demonstração para, em seguida, “provar” que a coisa buscada é verdadeira, mesmo sendo ela uma conquista dependente da análise. É sob

²¹⁹ No próximo capítulo, há uma discussão sobre a diferença entre resolução e solução, onde Newton mostra sua predileção à síntese dos geômetras antigos, reconhecendo que a análise exige demonstração sintética, mas a síntese, contrariamente, dispensa a demonstração analítica.

este ponto que o sentido cartesiano dado à “prova” está apoiado, inclusive para conceber o significado da resolução para com ela mostrar que o sentido de demonstração e prova são indissociáveis.

Battisti (*Ibid.* p.155) observa as semelhanças estruturais existentes entre a análise de Pappus com a de Descartes na *Geometria*, mesmo não havendo relação explícita dessa estrutura em ambos os matemáticos. A Regra V mostra, em seu enunciado, essa semelhança:

Todo o método consiste na ordem e na disposição das coisas rumo àquelas que são necessárias dirigir a atenção do espírito para descobrir alguma verdade. Ora, nós a seguiremos exatamente, se *conduzimos* gradualmente as proposições complicadas e obscuras às mais simples e se, em seguida, partindo da intuição das mais simples nos esforçamos a nos elevar, pelos mesmos degraus, ao conhecimento de todas as outras (DESCARTES, 1999, p.52; grifo meu)²²⁰.

Mesmo não havendo menção explícita sobre essa semelhança, “conduzir” as coisas mais complicadas às mais simples pressupõe a etapa da redução e, com ela, a inversão dos passos, o caminhar para trás se confirma. A Regra, por si só, sinaliza o estabelecimento de uma ordem necessária para executar os tipos de demonstração, cada uma em seu modo particular. Portanto, observa-se que, em Descartes, as demonstrações são elaboradas e fortemente conectadas, umas às outras, numa sucessão de objetos conhecidos e desconhecidos, que podem ser encontrados nas seguintes etapas:

a) análise - que consiste no tipo de demonstração que abre o caminho da descoberta e subdivide-se em: a.1) “redução” – que supõe conhecido o que é desconhecido; a.2) “resolução” – que prova como o desconhecido é descoberto pela regra da evidência;

b) síntese - que consiste na composição da descoberta de problemas mais complexos para deduzir novas descobertas através da Geometria e subdivide-se em: b.1) “construção” – que traduz, numa linguagem geométrica, o objeto descoberto pela análise, caso o objeto descoberto estabeleça relação com problemas muito complexos; b.2) “prova” – completa, com novos resultados quantitativos, ou, por assim dizer, com novas consequências deduzidas, o objeto de tradução geométrica definitiva.

²²⁰ “Toute la méthode consiste dans l’ordre et la disposition des choses vers lesquelles il faut tourner le regard de l’esprit, pour découvrir quelque vérité. Or nous la suivrons exactement, si nous ramenons graduellement les propositions compliquées et obscures aux plus simples, et si ensuite, partant de l’intuition des plus simples nous essayons de nous élever par les mêmes degrés à la connaissance de toutes les autres”.

Neste sentido, provas *a priori* e *a posteriori* constituem um sistema dinâmico na ordem das demonstrações, outrossim, numa visão de um sistema único de certezas ao produzir um conhecimento verdadeiro, subordinando a razão à disciplina universal. Separar a ordem das demonstrações, seja ela *a priori* ou *a posteriori*, analíticas ou sintéticas, é o que nos permite enxergar o modo como cada uma delas está fixada pela dedução. Recorrer à *Geometria* é um bom caminho para saber como Descartes executa seu método de análise, pois nela se identifica a determinação de suas etapas, a começar pela equação como o melhor artifício do método para conduzir a resolução dos problemas simples e complexos. No Primeiro Livro, Descartes trata dos problemas que se pode construir sem fazer uso de linhas e círculos. Há, no entanto, o ensejo pedagógico de mostrar como se faz o uso da álgebra para resolver problemas da Geometria. No Segundo Livro, Descartes se dedica essencialmente a resolver o problema da classificação das curvas de Pappus. Ainda que Descartes não exponha explicitamente o uso de construções auxiliares na *Geometria*, observa-se que ele oferece o caminho para a resolução pela redução de um problema, e com o artifício da equação, esse problema é traduzido pela “construção auxiliar” (Figura 4) ao se traçar a reta desconhecida:

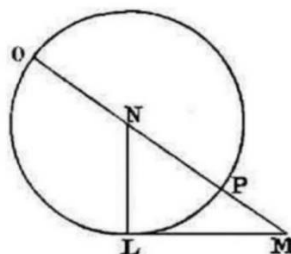


Figura 4 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 375)

A linha OM é a reta que se quer conhecer e se expressa na equação: $z = \frac{1}{2}a + \frac{\sqrt{1}}{4}aa + bb$. Essa mesma raiz pode ser facilmente conhecida por outras variáveis para mostrar que os problemas da Geometria comum não precisam de *explicações* além das que foram dadas (*Ibid.*, p. 376). Ou seja, não é requerida a progressão da construção e/ou composição sintética, aquela que só é exigida em problemas complexos. Não há, portanto, por parte de Descartes, a disposição em fazer uma exposição sintética, embora mostre o caminho em que se pode construí-la, pois, as mais variadas explicações, sobre as diversas formas de classificar as propriedades das linhas curvas, bastam. Battisti (2002, p. 146) faz essa observação ao buscar caracterizar a estrutura do método de análise na *Geometria*, indicando que a simplicidade da equação, por si só, dispensa a construção: “Descartes não fornece (nem mesmo a construção),

pois, como equação final é de segundo grau com uma incógnita, a solução é da forma já dada anteriormente”. Com isso, as reduções que chegam a equações de segundo grau devem bastar para resolver o problema da classificação das ovas (elipses e hipérbolas), porém, a operação sintética, “[...] isto novamente é deixado para o leitor descobrir por si mesmo” (SCOTT, 1976, p. 127)²²¹.

Ao tratar da natureza das linhas curvas, o Segundo Livro da *Geometria* é, sem dúvida, o arcabouço técnico do que Descartes estabeleceu para a determinação das lentes hiperbólicas; com elas, o estudo do comportamento do raio luminoso ganha lugar na explicação das propriedades das ovas quando tocam nos pontos da refração e reflexão. Ao buscar explicação para a formação de diferentes formas de linhas curvas, em relação às linhas retas, a demonstração das ovas aparece como um desdobramento da classificação das curvas, dando continuidade a resposta ao problema de Pappus: “Ora, após ter reduzido todas as linhas curvas a certos gêneros, é fácil continuar demonstrando a resposta que dei anteriormente à questão de Pappus” (DESCARTES, AT, VI, p. 396)²²². Como esse problema é conduzido pela demonstração analítica, embora a composição geométrica seja dispensável, a redução do problema vem acompanhada de construções auxiliares que traduzem os termos da equação. A Figura 4, por exemplo, mostra como essa tradução é requerida, pois a determinação das linhas curvas e retas se dá pela definição dos termos da equação. Portanto, com a classificação das propriedades das ovas as curvas são determinadas por equações simples, permitindo que a explicação das refrações da *Dióptrica* conduza a determinação da curva ideal, da hipérbole, para a construção de lentes das lunetas.

Quando as linhas curvas e retas configuram figuras planas, seus objetos são mais simples e fáceis de conhecer, traduzindo facilmente suas equações em construções auxiliares. Já os sólidos, que são constituídos por problemas mais complexos, exigem demonstração sintética, embora Descartes também não forneça explicitamente a construção como solução efetiva do problema. Observe que, no entanto, a resolução se distingue da solução porque ambas ocupam lugares diferentes e com diferentes significados na ordem das demonstrações. O que vemos é a exibição de equações do terceiro ao sexto grau e que requerem o uso de seções cônicas para sua solução. No Terceiro Livro, Descartes mostra que a construção dos sólidos e super sólidos exige configurações mais complexas, pois envolve objetos

²²¹ “[...] this again is no doubt left for the reader to discover for himself.”

²²² “ Or, après avoir ainfi reduit toutes les lignes courbes à certains genres, il m’est aifé de pourfuivre en la démonstration de la responce que j’ai tantoft faite à la questfon de Pappus”.

geométricos de três ou mais dimensões; por isto, o uso seções cônicas passa a ser requerido porque suas curvas são mais compostas e possuem estrutura mais complexa: “E, particularmente, no que diz respeito aos Problemas Sólidos, que eu disse que não poderiam ser construídos sem usar linha mais composta que a circular, é algo que pode ser muito encontrado naqueles que reduzem todos a duas construções” (DESCARTES, AT, VI, p. 475)²²³.

5.2) O método de análise e síntese na *Dióptrica*

A partir de agora, o presente estudo estará voltado para uma interpretação da execução prática do método cartesiano na *Dióptrica*, para que se identifique a estrutura da ordem necessária no interior deste ensaio. Ainda que, no *Discurso do método*, não haja explicação do modo como essa estrutura se apresenta nos *Ensaio*s, há, por outro lado, uma explicação que motivou a se pensar o método como um sistema único de certezas, edificado em base sólida, rigorosa e segura. Essa abordagem enfrentará a dificuldade de mostrar como o método cartesiano não pode se confundir com os *Elementos* de Euclides, ou que as hipóteses redutivas são o artifício necessário para conquistar princípios verdadeiros:

A síntese cartesiana não precisa partir sempre de proposições evidentes e pode também utilizar proposições meramente hipotéticas ou até mesmo reconhecidamente falsas. Exemplos de tais sínteses encontram-se na *Dióptrica*, nos *Meteoros* e nos *Princípios*, onde hipóteses apenas prováveis ou mesmo positivamente falsas são tomadas como pontos de partida da síntese. Isso significa que, em Descartes, uma prova sintética não equivale a uma demonstração (LOPARIC, 1997, p. 148)²²⁴.

Porém, não se pretende mostrar o uso de hipóteses nos *Meteoros* e nos *Princípios*, pois o objeto de interpretação dessa tese é a *Dióptrica*. Embora seja possível identificá-las nos *Ensaio*s, se bem que com elas se possam mostrar como os efeitos dependem das causas, nos *Princípios* isso já não é possível, pois o seu modo de demonstrar é direto. Apesar do que se demonstra nos *Meteoros*, observa-se que a hipótese conduz a ordem da demonstração *a posteriori*, já que esse modo de demonstrar explica como se chega à causa da formação do

²²³ “ Et particulièrement pour ce qui est des Problèmes folides, que j’ai dit ne pouvoit estre conftruis, sans qu’on y employe quelque ligne plus compofée que la circulaire, c’est chose qu’on peut affez trouuer, de ce qu’ils fe reduifent tous à deux conftructions”.

²²⁴ Mais adiante, poder-se-á verificar se Descartes, de fato, introduz hipóteses como ponto de partida da síntese. Em princípio, deve-se considerar que toda prova, em Descartes, é *a priori*, no sentido lógico, segundo o que ele mesmo afirma em sua carta à Morin e nas *Segundas respostas*. Sendo assim, a tese segundo a qual a síntese parte de hipóteses positivamente falsas é absolutamente questionável.

arco-íris; nos *Princípios*, ao menos se for considerada a estrutura sintética contida em seu formato, a prova é *a priori*, isto é, da causa para os efeitos.

A ordem sintética exige aplicação de princípios precedentes, e deles não se extrai prova pelos efeitos, mas com eles se mostra como os efeitos dependem das causas, trazendo a novidade da dedução de outras consequências que provam a verdadeira causa. Nota-se também que Descartes, ao executar o método de análise na *Dióptrica*, utiliza alguns termos que são marcantes, pois estão presentes ao longo de sua argumentação para defender sua teoria da luz. Palavras como “demonstração”, “suposição”, “evidência”, “redução”, “composição”, “construção”, identificam todo o movimento do uso de demonstrações; revelam, no interior da *Dióptrica*, a sucessão de coisas que são encontradas e ordenadas por operações mentais, que estão sob o controle da *mathesis universalis*. É possível também identificar em qual lugar elas estão situadas no método cartesiano para circunscrever a ordem das demonstrações, no modo em que devem aparecer agrupadas para erigir o edifício do conhecimento.

a) Ordem da análise

Primeiro Discurso (da luz):

A *Dióptrica*, ao buscar explicação para o comportamento do raio luminoso, nos meios transparentes, inicia seu Primeiro Discurso com um problema: a confusão do sentido da visão, no uso lentes inapropriadas para construção de lunetas: “Mas, para a vergonha de nossas ciências, essa invenção [a luneta], tão útil e admirável, apenas foi primeiramente alcançada pela experiência e ao acaso” (DECARTES, AT, VI, 1973, p. 81-2)²²⁵. A experiência aqui é um problema porque é nela que a ilusão dos sentidos se manifesta, confunde nosso pensamento, sem exigir um conhecimento de causa, dando ao acaso o poder de explicar como se dá o processo de construção da luneta. Para se desfazer dessa ilusão, Descartes dá o primeiro passo em direção a resposta para qual se deve buscar a determinação da figura de suas lentes para corrigir os defeitos da visão pela sua construção.

Considerando a aplicação da Regra V, a “redução” deve conduzir todo o processo de descoberta, mas, para isso, Descartes precisa iniciar uma explicação sobre a propagação da

²²⁵ “ Mais, a la honte de nos sciences, 20 cette inuention, fi vtile & fi admirable, n'a premierement eflé trouuée que par l'experience & la fortune.”

luz através de comparações (Cf. DESCARTES, 1999, p. 52). Uma reflexão a ser feita é que, para explicar o comportamento da luz, o modo como se propaga e como ocorre seu desvio após penetrar os corpos, a redução deve começar por suposições sem que com ela seja necessária provar a verdadeira natureza da luz:

[...] creio que bastará que eu me sirva de duas ou três comparações que ajudem a concebê-la do modo como me pareça mais cômodo para *explicar* todas aquelas propriedades que a experiência nos faz conhecer para deduzir, em seguida, todas as outras que não podem ser facilmente observadas, imitando nisso os astrônomos, para quem suas suposições sejam todas falsas, ainda assim, por corresponderem às diversas observações que fizeram, não deixam de tirar delas várias consequências muito verdadeiras e muito seguras (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 83; grifo meu)²²⁶.

Como não há a pretensão de provar qual é a verdadeira natureza da luz, admite-se, porém, que Descartes ousa lançar mão de hipóteses incertas ou prováveis para deduzir efeitos que possam ligar a redução à resolução. Este será o motivo pelo qual Morin abre a questão sobre o uso de hipóteses falsas na *Dióptrica*, mas que, na ocasião da troca de correspondência, Descartes optou por estabelecer a distinção entre *explicar* e *provar*, como tipos diferentes de demonstração (Cf. DESCARTES, AT, II, 1975, pp. 198-9). Considerando que as hipóteses por ele admitidas assumem a tarefa de apenas explicar os efeitos por elas deduzidas, sua função exegética desmembra as partes do problema para explicar de qual modo os efeitos dependem das causas: “*as causas* [hipóteses admitidas como verdadeiras] *das quais os deduzi não servem tanto para prová-los como para explicá-los, mas que são elas* [hipóteses admitidas] *que são provadas por eles* [efeitos]” (*Ibid.* p. 199)²²⁷. Esta é uma interpretação que conduz o entendimento a justificar uma hipótese, no domínio da Física, tanto como obstáculo quanto meio: “obstáculo, pois ela *limita* ou condiciona a validade do nosso saber; meio, pois ela permite a verificação dessa validade” (TIMMERMANS, 1995, p. 123-24)²²⁸. Na tarefa da redução, a suposição é limitada, por um lado, porque nada prova, por outro, tem a utilidade de

²²⁶ “[...] ie croy qu’il fuffira que ie me férue de deux ou trois comparaifons, qui aydent a la conceuoir en la façon qui me femble la plus commode, pour expliquer toutes celles de fes propriétés que l’expérience nous fait connoître, & pour déduire en fuite toutes les autres qui ne peuuent pas fi ayfement estre remarquées ; imitant en cecy les Aftronomes, qui, bien que leurs fuppoftions foyent prefque toutes fauffes ou incertaines, toutefois, a caufe qu’elles fe rapportent a diuerfes obferuations qu’ils ont faites, ne laiffent pas d’en tirer plufieurs confequences très vrayes & très affurées.”

²²⁷ Ver nota 213.

²²⁸ “Obstacle, puisqu’elle *limite* ou conditionne la validité de notre savoir ; moyen, puisqu’elle permet la vérification de cette validité.”

operar a dedução dos efeitos, podendo validá-la ao permitir que se conheça a causa efetivamente.

Com a interpretação de Timmermans, a função da suposição revela que a redução, na *Dióptrica*, ao iniciar o caminho da descoberta, em seu caminhar de “trás para frente”, traz a sua problemática principal: como determinar as formas exatas dos vidros que se podem fixar nas extremidades da luneta (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 82)? Este problema é levantado em razão de Descartes observar que essas lentes foram construídas apenas “[...] pela experiência e ao acaso” (*Ibid.* p. 82)²²⁹. Num sistema racional do conhecimento, nada é por acaso; a experiência, portanto, é problemática, pois ela, por si mesma, não fornece explicação suficiente que satisfaça as exigências do raciocínio dedutivo, daí a importância da redução, que vê, na suposição, o ponto de partida mais simples e fácil para encadear o raciocínio dedutivo. E por ser a experiência problemática, Descartes considera necessário afastar a obscuridade dos sentidos para alcançar o caminho mais perfeito das formas exatas, como aquele que descreve a curva das lentes das lunetas.

Desse modo, a explicação das principais propriedades da luz, que tem origem na redução, inicia sua operação com as seguintes analogias: a do bastão do cego, para “explicar” a transmissão instantânea da luz; a do vinho na cuba, para “explicar” o comportamento das partes mais sutis da luz (o vinho), que tendem a viajar em linha reta, durante sua propagação, sendo as partes mais duras de ar (os cachos de uva), matéria que pode impedir a passagem de parte da matéria sutil, o que faz o raio tender em linha reta; e a da bola na raquete, para “explicar” como se dá o desvio da luz ao atravessar um meio, isto é, a reflexão e a refração. Observe que aqui a explicação é o tipo de demonstração mais adequada para que Descartes conduza o pensamento, de forma correta, ao caminho da descoberta.

Para uma interpretação exegética do método de análise, a redução, enunciada na Regra V, é trazida para o interior da *Dióptrica* por conduzir às deduções pelo artifício da analogia. No entanto, quando se supõe que a transmissão da luz se dá em movimento instantâneo, que o movimento das partes mais sutis da luz tende a viajar em linha reta e que a luz perde parte de seu movimento quando atravessa um meio, vê-se que as leis do movimento, àquelas já explicadas na *Tratado da luz*, são aplicadas agora na explicação da ação da luz²³⁰. Desse

²²⁹ “[...] par l’expérience & la fortune”.

²³⁰ “Seguem as três leis: 1ª) todo corpo continua sempre num mesmo estado até o momento em que movimento de outros corpos forçam sua mudança – o corpo permanece em repouso no instante da colisão, depois disso,

modo, Descartes descreve o comportamento da luz, sem a pretensão de provar qual é a sua verdadeira natureza, embora as leis do movimento, que regem suas propriedades, já estejam descritas no *Tratado da luz*. Na *Dióptrica*, as principais propriedades da luz, ou seja, a transmissão instantânea, a tendência a se mover em linha reta e seu desvio por refração e reflexão, são deduções de efeitos, a partir de suas constatações conduzidas por analogias, na direção da verdadeira causa. Ao dirigir o pensamento de “trás para frente”, pelo artifício da analogia, há o interesse em revelar o princípio que determina as formas exatas que os vidros devem ter na construção da luneta.

Dessas três analogias, há uma mesma constatação: o movimento é o que determina o comportamento dos raios de luz. Portanto, a ideia de cor é deduzida pelo movimento instantâneo do bastão do cego, a tendência da luz em viajar em linha reta é deduzida pelo movimento das partes sutis do vinho na cuba, e quando parte do movimento da luz é reduzido ou simplesmente inalterado, ao atravessar um meio qualquer, seu desvio de reflexão ou refração é comparado ao modelo da bola na raquete. A suposição por comparação é o que vai conduzir à certeza sem que com ela se possa provar alguma coisa: “O método por hipóteses, incerto e probabilista, pode conduzir a um método da certeza” (TIMMERMANS, 1995, p. 126)²³¹. E ainda que se possa questionar o uso de suposições, como fez Morin ao acusar Descartes de praticar o círculo lógico, na carta de 22 de fevereiro de 1638 dirigida ao P. Vatier, pode-se observar que o significado de prova se aplica apenas aos princípios *a priori*, ao passo que, das suposições deduzidas das experiências, a demonstrações *a posteriori* nada provam:

Quanto ao que supus no início dos Meteoros, não saberia demonstrá-lo *a priori*, senão dando toda minha Física; mas as experiências que necessariamente deduzi disso, e que não podem ser deduzidas no mesmo modo de nenhum outro princípio, me parecem ser demonstradas bastante *a posteriori*. Previ, então, que esse modo de escrever chocaria primeiramente os leitores, e acredito que pudesse facilmente remediar ao tirar disso o nome de suposições às primeiras coisas das quais falo, e declará-las apenas na medida que eu daria algumas razões para prová-

tende ao movimento até que a ação de outro corpo o detenha; 2ª) todo corpo perde parte de seu movimento quando o corpo que o empurra é mais fraco, ou quando é mais forte, aumenta seu movimento – se há colisão entre corpos que se movem, o movimento é determinado pela força dos corpos que se chocam; 3ª) todo corpo que se move tende a continuar seu movimento em linha reta – o movimento retilíneo é instantâneo, pois todo corpo que viaja em linha reta depende do instante em que seu movimento deixa de ser retardado ou aumentado pelo choque com outros corpos” (Cf. DESCARTES, AT, XI, 1998, pp.38-44). Essas mesmas leis são demonstradas na Parte II dos *Princípios*, nos artigos 37, 39,40.

²³¹ “La méthode par hypothèses, incertaine et probabiliste, peut conduire à une méthode de la certitude”.

las [...] com efeito, não é sempre necessário ter razões *a priori* para determinar uma verdade (DESCARTES, AT, I, 1974, p. 563)²³².

Ou seja, as demonstrações *a posteriori* só explicam as causas por seus efeitos e, ao trazê-las para o interior da *Dióptrica*, poder-se-á interpretar o uso das três principais analogias. Observa-se que é preciso algo mais para provar alguma coisa, segundo a ordem da descoberta, pois a verdadeira causa precisa ser conquistada para que a prova *a priori* possa acontecer. Enquanto a verdadeira causa do desvio da luz não é encontrada, as analogias servem para mostrar que o movimento é a causa das sensações e com ele, o movimento, é que se pode chegar à descoberta.

Mas é preciso estabelecer antes a distinção entre movimento e a inclinação a se mover, coisas que diferem entre si e definem a natureza dos corpos: a) quando o movimento de um corpo é provocado pelo choque com outro corpo, tornando sua direção necessariamente reta; b) quando o choque entre corpos densos e sutis impede que sua viagem siga em linha reta, mas que, em vez disso, possa tendê-los a se mover em outras direções (DESCARTES, AT, VI p. 88). Segundo Moreira a luz não é entendida como matéria em movimento, “[...] mas com uma inclinação (tendência) a se mover” (in FUKS, 1997, p.148). Se a luz tende ao movimento, sua incidência deve ser medida pela força, não pela velocidade, que se opõe a transmissão instantânea (infinita) da luz. Vale lembrar que quantidade de movimento é medida pela velocidade, não pela força e pensar numa velocidade na sua transmissão implicaria introduzir quantidade de movimento. Para que haja uma demonstração fisicamente correta, Descartes, sabiamente, introduz a noção de força, para mais adiante chegar à resolução do problema enunciado.

Como já foi dito acima, algumas expressões caracterizam a estrutura do método cartesiano. Quando vemos, por exemplo, a palavra “suposição”, esta significa que o ponto de partida para a descoberta é reduzir o desconhecido ao conhecido. Nas três analogias, em que se busca explicar as propriedades da luz e seu comportamento em vários meios, pressupõe-se que a causa das sensações tem origem no movimento dos corpos e que, em todos os corpos, até mesmo a luz como matéria sutil, são aplicadas as mesmas leis do movimento.

²³² “Quant à ce que i’ay fupofé au commencement des Meteores, ie ne le fcaurois demonftrer *à priori*, finon en donnant toute ma Phifique; mais les experiences que i’en ay deduites neceffairement, & qui ne peuuent estre deduites en mefme façon d’aucuns autres principes, me femblent le demonftrer affez *à posteriori*. L’auois bien preuû que cette façon d’écrire choqueroit d’abord les lecteurs, & ie croy que i’euffe pû aifement y remedier, en oftant feulement le nom de fupofitions aux premieres chofes dont ie parle, & ne les declarant qu’à mefure que ie donnerois quelques raifons pour les prouuer [...] en effet il n’eft pas toufiours neceffaire d’auoir des raifons *à priori* pour perfuader vne verité”.

Sendo o movimento uma constatação que explica a ação dos corpos, Descartes não resolve o problema, mas por essa constatação ele explica como se dá o desvio dos corpos pela refração²³³:

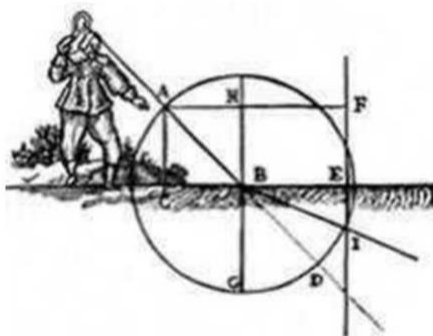


Figura 5 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 91)

Nesta figura, Descartes explica, por meio da analogia da bola na raquete, que a causa do desvio do corpo se dá pela redução de sua força que, ao vir da direção AB, se choca no meio CE, superfície frágil, e faz um desvio para BI. De forma análoga, a ação da luz num meio qualquer se dá pela mesma razão, causando refração ao atravessar o meio. Atente-se que a situação da bola projetada pela raquete é verificada pela experiência, porém, é reduzida ao que há de mais claro e distinto, ou seja, a uma configuração geométrica que, numa linguagem papusiana, pode-se chamar de construção auxiliar. Isto porque a experiência não satisfaz as exigências da dedução e, por isso, é preciso supor, por analogia, que o corpo se comporta da mesma maneira como na configuração geométrica.

Segundo Discurso (da refração):

Até então, as analogias permitiram deduzir o movimento como causa das sensações e a refração e reflexão como causas do desvio da luz. Nesse discurso, Descartes fará uma nova redução para mostrar, em outras situações, o modo como o raio de luz se comporta, ainda que a analogia da bola na raquete seja seu melhor artifício para tal explicação. Assim, o fenômeno da reflexão ganha uma outra configuração geométrica para explicar como a bola, que vem de

²³³ A *Dióptrica*, por se tratar de um ensaio científico com a problemática da experiência sensível, faz uma vasta exposição dos vários tipos de configurações geométricas, desde as demonstrações analíticas até as sintéticas; para esta tese, serão utilizadas apenas àquelas que auxiliam na exposição exegética das demonstrações nela contidas, pois é preciso considerar a necessidade de não se prolongar num discurso prolixo a fim de evitar ilustrações que possam tornar a leitura do texto cansativa.

considerar movimento e velocidade como partes constituintes da determinação para gerar uma explicação satisfatória da propagação da luz:

No fato da reflexão, por exemplo, de uma bola sobre um corpo duro. Descartes viu a determinação mudar, mas não movimento ou velocidade. — Mas não é essa distinção que seria suficiente para nos perturbar. Fermat também o fará com mais rigor do que o próprio Descartes, o que não o impedirá de achar esta demonstração absolutamente incompreensível (MILHAUD, 1921, p. 110)²³⁵.

Em 28 de janeiro de 1638, Fermat envia uma carta para Mersenne, mostrando que sua intenção, nessa disputa, é de apenas esclarecer e conhecer o modo como Descartes define a determinação do desvio dos raios, seja pela reflexão ou refração, observando que o uso da força se distingue do movimento: “Veja como ele recai em sua primeira falta, não distinguindo determinação da força do movimento. E, para que você entenda melhor, aplicamos seu raciocínio a outro caso” (DESCARTES, AT, I, 1973, p. 468)²³⁶. Fermat discorda da concepção de determinação, já que, segundo ele, ela apenas pressupõe a indicação da direção do desvio, tendo em vista que a força não compreende a relação existente entre velocidade e quantidade de movimento. Não há, em Descartes, uma noção de velocidade, mas a de rapidez, na ocasião em que a luz atravessa o meio, o que, pela ação da força, na sua transmissão instantânea, faz com que não haja alteração na sua determinação em se mover para o lado em que está inclinada a se deslocar. Para Fermat, determinação implica necessariamente quantidade de movimento. Por isso, Descartes prefere explicar a propagação da luz pela ação da força, pois, substituí-la por velocidade, implicaria medir sua quantidade de movimento para alterar a determinação em se deslocar de um lado ou outro²³⁷.

A força, portanto, é o que define a determinação do desvio da luz, no ato de sua incidência, pois, em seu deslocamento, seja para dentro ou para fora da superfície, torna a rapidez de seu desvio inalterada, no caso da reflexão, e reduzida, no caso da refração. Como

partes mais sutis, porque este é o modelo que melhor se adequa à sua teoria Óptica. Para Fermat, não há como rejeitar a ideia de que a transmissão da luz se propaga em determinada velocidade, mas isto chocaria a teoria de Descartes.

²³⁵ “Dans le fait de la réflexion, par exemple, d'une balle sur un corps dur. Descartes voyait la détermination changer, mais non le mouvement ou la vitesse. — Mais ce n'est pas cette distinction qui suffirait à nous troubler. Fermât la fera, lui aussi, plus rigoureusement que Descartes lui-même, ce qui ne l'empêchera pas de trouver cette démonstration absolument incompréhensible”.

²³⁶ “Voyez comme il retombe dans la première faute, ne distinguant pas la détermination de la force du mouvement. Et pour mieux vous le faire comprendre, appliquons son raisonnement à un autre cas”.

²³⁷ Fermat consegue provar que a propagação da luz percorre o caminho mais fácil quando calcula, pela velocidade, o tempo mínimo na sua transmissão; mas, para isso, observa que o tempo mínimo se dá no meio menos denso, que oferece menos resistência, ao passo que, para Descartes, a transmissão da luz, no meio menos denso, oferece maior resistência (Cf. MOREIRA *in* FUKS, 1997, pp. 156-7).

Fermat, na mesma carta, entende que a determinação diz respeito à quantidade de movimento, conclui que há um paralogismo nessa explicação, pois não há como conciliar a transmissão instantânea, portanto infinita, com redução de velocidade: “Veja que essa conclusão é absurda e que, para tornar o argumento bom, seria necessário que a bola *nada* perdesse de sua determinação nem de sua força, e, portanto, eis aqui um Paralogismo muito manifesto” (DESCARTES, AT, I, 1973, p. 468)²³⁸.

A questão pontual é conciliar ação da força com velocidade, algo que Descartes não viu ao se referir à explicação da propagação da luz, tornando conveniente aplicar a noção de rapidez na explicação da determinação, ou melhor, a “direção” do seu desvio, embora a noção de resistência já tenha sido estabelecida pela terceira lei do movimento. Portanto, velocidade pressupõe calcular quantidade de movimento, o que, para o tipo de matéria que constitui a luz se dá no mesmo instante, é contraditório.

Com a demonstração das principais propriedades da luz, Descartes, agora, observa que há uma relação existente entre força e distância, o que irá produzir o conhecimento na direção da “resolução” do problema. Ao ver que a bola pode percorrer a trajetória a seguir, a configuração abaixo é conclusiva, supondo que a bola que vem de A para B, atravesse um terço mais facilmente a superfície CBE, considerando que essa superfície seja mais densa que o ar, da seguinte trajetória decorre que:

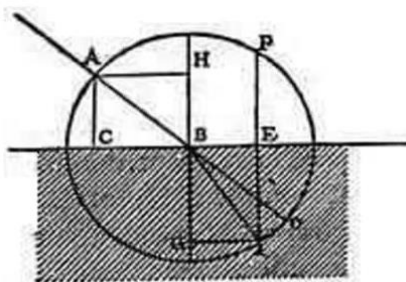


Figura 8 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 100)

[...] segue *evidentemente* do que já foi demonstrado que, se descrevermos o círculo AD, como antes, e as linhas AC, HB, FE de tal modo que haja um terço a menos de distância entre FE e HB do que HB e AC, o ponto I, onde a linha reta FE e a circular AD se interceptam, designará o lugar para o qual essa bola, estando no ponto B, deve ser

²³⁸ “Vous voyez que cette conclusion est absurde, & que pour rendre l’argument bon, il faudroit que la balle ne perdît *rien* de sa determination ni de sa force, & partant voyla vn Paralogisme tres-manifeste”. (Grifo meu para mostrar que o *nada* inclui também a rapidez).

desviada. Ora, pode-se tomar também o inverso desta conclusão e dizer que, já que a bola, que vem de A, em linha reta até B, se desvia ao estar no ponto B e toma seu curso de B para I, isso significa que a força ou a facilidade da qual ela entra no corpo CBEI está para aquela que sai do corpo ACBE, assim como a distância que está entre AC & HB está para aquela entre HB & FI, isto é, como a linha CB está para a BE (*Ibid.* p. 100)²³⁹.

Veja que aqui, a proporção existente entre força e distância é o que define o desvio da refração, ao se tratar de uma conclusão necessária e tornar “evidente” que esta relação, pela constante $K = \frac{\text{sen}i}{\text{sen}r}$ é a prova da lei de refração. A formulação da proporção já se encontra descrita na Regra VI para mostrar que a “proporção contínua” entre duas grandezas pode demonstrar as demais grandezas. Por conseguinte, na Regra VIII, a concepção de proporção é evocada para mostrar que a curva anaclástica depende da proporção existente entre os ângulos de incidência e refração para a determinação de sua curva²⁴⁰. Com a descoberta das propriedades das ovas, Descartes encontra a proporção que mede a quantidade de refração e reflexão para chegar a evidência de sua demonstração²⁴¹.

Portanto, entende-se por evidência um critério metafísico de verdade que, por sua clareza e distinção, revela a realidade Física, segundo “[...] uma doutrina sobre o valor da evidência das imagens dentro da nossa relação cognitiva com o mundo externo” (GAUKROGER, 1997, p. 202)²⁴². Tomando a evidência como critério de verdade, a lei de refração é uma conquista produzida na análise redutiva, formulada como princípio *a priori* que dá início à etapa da resolução. Concluída a redução, a resolução segue na formulação da

²³⁹ “[...] il fuit *manifestement* de ce qui a esté defia demonstté, que, fi l'on defcrit le cercle AD comme deuant, & les lignes AC, HB, FE, en telle forte qu'il y ait d'vn tiers moins de diftance entre FE & HB qu'entre HB & AC, le point I, où la ligne droite FE & la circulaire AD s'entrecoupent, defignera le lieu vers lequel cete bale, eftant au point B, fe doit détourner. Or on peut prendre auffi le reuers de cete conclufion & dire que, puifque la baie qui vient d'A en ligne droite iufques a B, fe détourne eflant au point B, & prend fon cours de là vers I, cela fignifie que la force ou facilité, dont elle entre dans le cors CBEI, eft a celle dont elle fort du cors ACBE, comme la diftance qui eft entre AC & HB, a celle qui eft entre HB & FI, c'eft a dire comme la ligne CB et a BE”. (Grifo meu para traduzir *manifestement* por ‘evidência’ e designá-la como critério de certeza produzido na conclusão necessária de tudo aquilo que já foi demonstrado anteriormente).

²⁴⁰ As *Regras*, obra da juventude de Descartes, escrita em 1629, mostram que, desde sua composição, ele já havia produzido um conhecimento sobre a lei de refração pela determinação da curva anaclástica. Com a leitura dos livros de Kepler foi que Descartes aperfeiçoou a concepção Matemática da hipérbole, onde conseguiu descobrir, na anaclástica, o lugar onde os raios paralelos devem ocorrer para incidir em um único ponto após a refração. Kepler chega a traçar superfícies esféricas que se aproximaram da solução desse problema: o de corrigir os defeitos produzidos nas lentes esféricas (Cf. MILHAUD, 1921, p. 98).

²⁴¹ No Livro II da *Geometria*, Descartes define quais são os objetos das linhas curvas para então classificar as propriedades das ovas e assim mostrar como ele chega, na *Dióptrica*, a descrever como a curva do vidro pode ser obtida para a construção de lentes para as lunetas (Cf. AT, VI, 1973, pp. 431-37).

²⁴² “[...] “a doctrine about the evidential value of images into one about our cognitive relation to the external world.”

prova a partir do que a lei pode demonstrar em diversas situações. Nesse caso, a lei prova que sua proporção pode produzir resultados nos diversos meios, sejam eles em superfícies mais ou menos densas, como vidro e água, como também em superfícies planas e esféricas, como fica demonstrado em seus diversos pontos de incidências e refração.

Assim, as refrações que ocorrem na água e no vidro são produzidas pela ação da luz, que segue as mesmas leis do movimento, e suas quantidades vão depender da natureza particular dos corpos onde sua ação ocorre²⁴³. Porém, se for considerado que a trajetória da luz em linha reta e as propriedades de refração e reflexão ficam provadas pela lei, nem por isso fica provada a sua transmissão instantânea.

Como cada meio tem sua natureza particular, cabe aqui elucidar como a prova é executada a partir de apenas um exemplo, a fim de evitar um discurso prolixo, em suas consecutivas configurações, sendo que o exemplo a seguir basta para elucidar o que se requer:

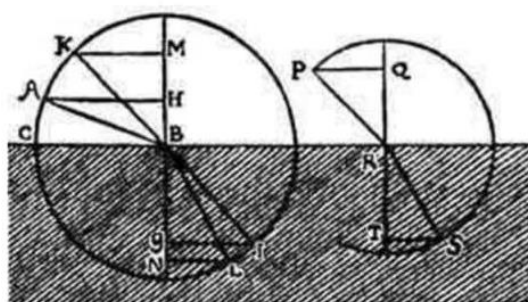


Figura 9 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 101)

Aqui, essa configuração geométrica demonstra a ação do raio de luz no vidro, em diversos pontos de incidência. O raio que vem de A e atravessa a superfície do vidro CBR, faz o desvio a partir de B para I, o que vem de K, faz o desvio de B para L; assim como o raio que vem de P e atravessa a superfície CBR no ponto R, faz desvio para o ponto S. Portanto, a proporção existente entre KM e LN, PQ e ST, AH e IG, é a mesma encontrada nos ângulos KBM, LBN, PQR e SRT, tal como é entre ABH e IBG. Assim, fica demonstrada a eficácia da lei de refração, ao provar que há a mesma proporção/k entre os ângulos de incidência/seni e refração/senr. Ademais, demonstração equivalente é fornecida nas demais configurações

²⁴³ Descartes formula essas demonstrações a partir de várias configurações geométricas que visam provar a verdade da lei quando aplicada nos diferentes meios. Ele mostra como a proporção pode ser medida, segundo o deslocamento do desvio da luz a partir de distintos pontos de incidência.

geométricas, tanto na água e quanto na superfície esférica, do Segundo Discurso da *Dióptrica*²⁴⁴.

Após esse exame, do Terceiro ao Sétimo Discurso, Descartes dá origem a uma sequência de formulações, onde a sua análise estará mais voltada para um exame psicofísico da anatomia do olho, dos sentidos em geral, da formação das imagens no fundo do olho, do sentido da visão e dos meios de se aperfeiçoar a visão pelas lentes. Apesar de ele mostrar algumas de suas conquistas por algumas evidências demonstradas, em especial no Quinto e Sétimo Discursos, o modo como ele chega a essas conquistas já foi discutido na exposição mais acima, com a etapa redutiva, tanto no Primeiro quanto no Segundo Discursos. Por este motivo, é preferível fazer uma exposição do que ele fez do Terceiro ao Sétimo, pois não há alteração demonstrativa além do que já foi discutido até aqui. O que interessa, após explicação do Sétimo Discurso, é mostrar como a construção sintética está erigida, cujo início, a partir do Oitavo Discurso, terá sua versão exegetica.

Para o momento, as formulações problemáticas do Terceiro, Quarto e Sexto Discursos, que mostram a fisiologia do olho, a natureza dos sentidos em geral e o sentido da visão, respectivamente, fornecem à *Dióptrica* um exame do que é possível observar. Há também uma exposição, em linhas gerais, da complexidade da percepção visual e do que torna inviável a produção de provas, embora explique, em conformidade com o método, o que é possível mostrar por analogias e suposições²⁴⁵. Não há evidência Matemática em suas reduções, embora Descartes recorra a reduções geométricas da percepção sensível a fim de explicar suas constatações. Mas, o que realmente se observa, é a ausência da expressão “evidência”, o que poderia caracterizar a estrutura de algo que conduza à prova, caso estivesse presente. Para provar alguma coisa, Descartes deveria antes romper a redução para assim sair da seara das suposições; torna-se possível então conduzir os passos na direção da resolução, a

²⁴⁴ Ainda que essas demonstrações sejam realizadas para que não se possa duvidar de sua verdade, vale ressaltar que Descartes considera que a desvio do raio após incidência é maior no ar que na água e ainda mais na água do que no vidro (Cf. DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 102).

²⁴⁵ Esses Discursos, por não produzirem provas, não serão objetos do exame exegetico que essa tese propõe, assim como o Quinto e o Sétimo Discursos, embora estes produzam constatações por evidência, não na forma da evidência da lei de refração. O que a lei torna evidente é a relação entre força e distância, que são modos da extensão e, portanto, são mais simples e fáceis de conhecer, tendo seu efeito produzido em superfícies distintas. Porém, mesmo a relação sendo evidente, ela é complexa porque se aplica a superfícies distintas, mas que produzem efeitos semelhantes. Por isso, o conhecimento só avança nas configurações geométricas na construção sintética, quando essa demonstração produz a dedução de outros efeitos, a partir da prova *a priori* da eficácia da lei. Na ordem do conhecimento, o Oitavo Discurso torna-se fundamental para executar a configuração geométrica efetiva, oposta às configurações auxiliares e anteriores à resolução, pois suas demonstrações são sintéticas, ou seja, deduzem da causa outros efeitos, ao formular construções e provar que a lei de refração é universal, no qual o projeto arquitetônico do método cartesiano exerce protagonismo essencial na produção de seu conhecimento.

fim de mostrar como o mecanismo anatômico é capaz de reproduzir imagens na alma, pois o olho recebe sua percepção sensível, mas é a alma quem as vê. Não há, portanto, ocasião para se tentar provar alguma coisa, a menos haja evidência para isso.

Terceiro Discurso (do olho):

Nesse discurso, Descartes formula a suposição, a partir de um exame da fisiologia do olho, de como a refração pode ocorrer no interior do olho, através do humor líquido que o preenche. Como se trata de um exame reutivo, tal como ocorreu nos Discursos I e II, a anatomia do olho é reduzida a uma configuração geométrica para mostrar como se dá a passagem da imagem excitada pelo movimento dos nervos ópticos na formação da visão.

Quarto Discurso (dos sentidos em geral):

A explicação da natureza dos sentidos mostra que o movimento é a causa das sensações e, nesse discurso, Descartes nem chega a fazer configuração geométrica que possa mostrar como ocorrem as sensações. Porém, essa é uma constatação que ficou demonstrada no Primeiro Discurso, quando Descartes, pela analogia da bengala do cego, mostra como se dá a transmissão instantânea da luz pela ação do movimento da bengala que faz chegar às suas mãos as sensações dos objetos que as excitam. Como sensações são produzidas pelo movimento, sua comunicação com os nervos é o que faz o corpo perceber a existência dos objetos exteriores.

Quinto Discurso (das imagens que se formam no fundo do olho):

Descartes estende seu exame da percepção sensível da visão ao exame da força do nervo óptico quando transmite a imagem do fundo do olho para o cérebro. Como esse nervo é um outro corpo, de natureza particular e sem transparência, seria preciso ir para além desse corpo, para fazer ver a evidência Matemática da transmissão da luz nesse corpo, e que, pela ação da força, possa ter determinação para movê-lo. Ou melhor, seria necessário fazer ver uma certa quantidade de movimento provocado nesse nervo. Mais um paralogismo? A natureza particular do nervo óptico é também um obstáculo para entender de que modo a direção da luz se desvia, em termos de movimento. Descartes compara então o olho a uma câmara escura, cuja abertura é a pupila, por onde atravessam os raios, no humor cristalino, causando refrações em diversos pontos do fundo do olho. Mas vale ressaltar que, no uso de uma comparação, há a intenção de supor que o olho humano seja semelhante ao do boi. Por

isso, comparar, nesse caso, significa supor. Para essa comparação, Descartes ainda recorre a um olho de um animal grande, como um boi, para fazer seu exame a partir da seguinte configuração geométrica:

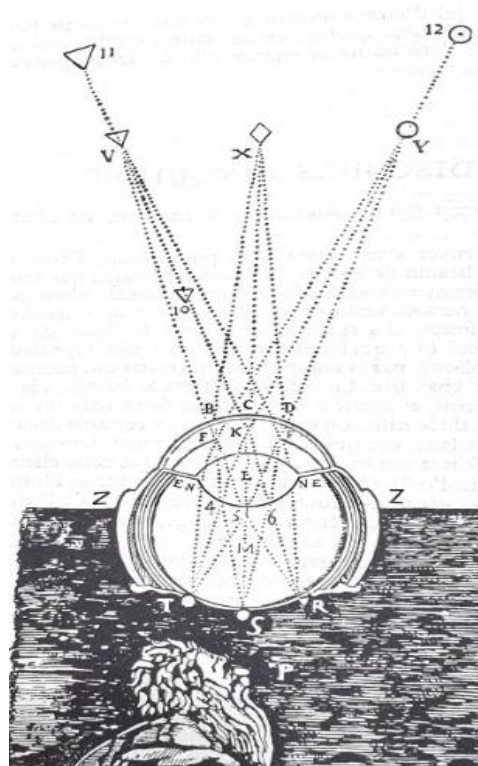


Figura 10 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 116)

Por essa analogia, Descartes explica o modo como os raios penetram no humor líquido CKS, atravessando a superfície BCD, que projetam os raios que vem de VXY na abertura da pupila EF, até chegar em RST para formar a imagem invertida no fundo do olho²⁴⁶. Essa analogia irá conduzir o raciocínio na direção da proporção existente entre os raios que emergem do objeto e dos que emergem da imagem vista: “Como é evidente que, se ACB é o objeto, D a abertura e EFG a imagem, EG está para FD assim como AB está para CD” (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 126)²⁴⁷.

²⁴⁶ Descartes faz analogia entre o olho de um animal morto e um humano de modo que a redução geométrica possa mostrar como se dá a formação da imagem no fundo do olho, bem como o comportamento do raio luminoso no líquido transparente existente na estrutura do olho.

²⁴⁷ “Comme il est évident que si ACB est l'objet, D le trou, & EFG, l'image, EG est a FD comme AB est a CD”. A evidência é um critério de certeza, mas aqui, por envolver uma questão complexa da projeção de uma imagem sensível pela distância do seu objeto, não se torna anapodítica. Questões que envolvem percepções sensíveis são sempre complexas, pois a experiência sensível é problemática e requer reduções geométricas, como a da câmara escura, ainda nesse discurso. Com a redução geométrica da câmara, ao compará-la a um olho de boi, Descartes supõe como se dá a formação das imagens no fundo do olho, fazendo descrições do comportamento do raio luminoso, sem que com isso se prove como a ação da força da luz é capaz de mover o nervo óptico para causar a

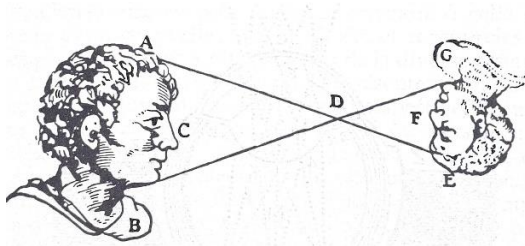


Figura 11 (*Ibid.*)

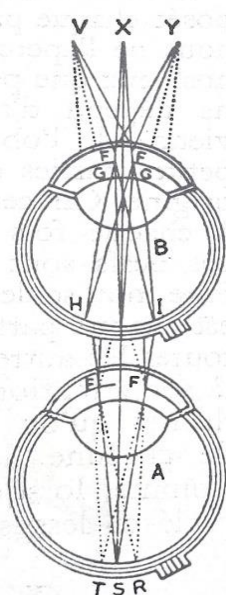
A relação entre a distância do objeto ABC e o lugar de onde ele é visto D, é a medida que permite Descartes formular a distância real das lentes que podem ser interpostas após o ponto D, invertendo as linhas AD e BD que emergem do objeto até a próxima lente e assim corrigir o defeito da imagem invertida para projetá-la em sua posição real. Este é um passo importante na definição do tipo de lente que o telescópio deve adaptar para que produza imagens próximas do real.

Sexto Discurso (da visão):

Descartes supõe ser fácil calcular a força da luz no fundo do olho, sobre as extremidades do nervo óptico. Mas essas quantidades são arbitrárias porque se desconhece a natureza particular do fundo do olho e dos filamentos dos nervos. O bastão do cego, por exemplo, é uma analogia que tenta explicar a natureza da ação dos nervos, supondo que se transmite, para as mãos do cego, o movimento dos objetos tocados pelo bastão. Mesmo partindo da ideia de que o movimento é a causa da sensação, sendo o movimento tomado como uma ideia clara e distinta, enquanto tal indivisível. Clareza e distinção pressupõem auto evidência e dispensam a construção sintética: “Lá, onde não há mais divisão, ainda há lugar para a ordem. Lá, onde não há mais divisão, não há mais dimensão e, portanto, não há mais a medida” (BEYSSADE, 2001, p. 316)²⁴⁸. Mas, aqui, o movimento provoca uma ação nos nervos ópticos que Descartes pretende quantificar, quando os nervos ópticos são excitados pelos objetos da sensação. Logo, não se vê Descartes dispor de uma demonstração que possa fornecer a prova *a priori* de que a ação do movimento nos nervos ópticos é o que determina o lugar onde os objetos da sensação são percebidos na alma. Ainda que Descartes busque fornecer a quantidade de força nos filamentos ópticos, a descrição abaixo não é convincente:

sensação da visão. Para o momento, sua descrição completa tornou-se dispensável ao enfatizar apenas o sentido de “evidência” dado à relação existente entre os raios do objeto e a distância em que é visto.

²⁴⁸ “Là où il n’y a plus de division, il y a encore place pour l’ordre. Là où il n’y a plus de division, il n’y a plus de dimension et partant plus la mesure”. Onde não há mais divisão, dimensão e medida, há apenas a unidade auto evidente, por conseguinte, anapodítica.



[...] eles [os raios dos objetos VXY] devem agir com maior força contra cada uma das extremidades do nervo ótico que tangenciam: o que é muito fácil calcular. Se, por exemplo, o espaço HI é quádruplo de TR, contendo as extremidades de quatro mil pequenos filamentos do nervo ótico, TR conterá apenas mil, por conseguinte, cada um desses pequenos filamentos será movido no fundo do olho A, pela milésima das forças que têm todos os raios que entram juntas, e no fundo do olho B, somente pela quarta parte do milésimo (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 133)²⁴⁹.

Figura 12 (*Ibid.*)

Ao fornecer esse detalhamento, seja no olho A ou no olho B, essa explicação ainda permanece numa abordagem qualitativa, pois Descartes mesmo descreve, ao final deste discurso, que a alma é quem vê e é ela quem percebe a distância dos objetos visíveis. Como pode a percepção sensível da alma reconhecer a distância em que os objetos são vistos pela proporção acima fornecida? Observe que os raios que vêm dos objetos VXY obedecem a mesma distância quando projetados tanto no olho A quanto no olho B. Esse caso particular é problemático ao fazer da percepção da distância, pelo cérebro, uma ação sensível, na ocasião da formação da imagem no fundo do olho pelo movimento dos nervos. Mesmo que a proporção entre força e distância seja equivalente, na determinação da refração, encontrar uma quantidade de força pela quantidade de nervos está aquém de uma explicação que seja objetiva. Que distância, figura, movimento, espaço, lugar, etc., sejam modos da extensão, mensuráveis em proporções equivalentes, mas explicá-los a partir de uma alma que está conjugada a um corpo, assim como “um piloto está conjugado a um navio”, é trazer para a linguagem científica as afecções de um “eu” subjetivo, que não valida o conhecimento objetivo porque se difere do “eu” cognoscente, que só se faz soberano pela garantia objetiva da ordem e da medida²⁵⁰. Mas é interessante observar que neste discurso qualitativo, apesar de

²⁴⁹ “[...] ils y doiuent agir avec plus de force contre chacune des extrémités du nerf optique qu'ils y touchent: ce qui est fort aisé à calculer. Car, si, par exemple, l'espace HI est quadruple de TR, & qu'il contient les extrémités de quatre mille des petits filets du nerf optique, TR ne contiendra que celles de mille, & par conséquent chacun de ces petits filets fera mouvoir, dans le fond de l'œil A, par la milliesme partie des forces qu'ont tous les rayons qui y entrent, jointes ensemble, & dans le fond de l'œil B, par le quart de la milliesme partie seulement”.

²⁵⁰ Na Sexta Meditação, Descartes faz analogia do piloto em um navio para mostrar que a alma está ligada ao corpo pela glândula pineal, e sua separação se dá pela vontade de Deus, explicação ocasionalista que deixa o problema clássico da separação mente/corpo sem resposta.

Descartes buscar fornecer a quantidade de movimento dos nervos ópticos, não há dedução da evidência que possa explicar que isso ocorra dessa maneira.

Sétimo Discurso (dos meios de aperfeiçoar a visão):

Alguns objetos são próximos e acessíveis, outros são distantes e inacessíveis, uns mais iluminados e outros não, alguns maiores e outros menores ou quase imperceptíveis. Todos esses objetos, segundo Descartes, alguns mais perceptíveis que outros, quando passam pela visão são visíveis por órgãos interiores (nervos e cérebro, que são bem difíceis de explicar) e por órgãos exteriores (as partes transparentes do olho e as lentes).

Para corrigir os defeitos da visão, Descartes observa que o uso de lentes pode convergir ou distribuir os raios que vêm dos objetos distantes ou próximos, como é o caso do objeto V, cujos raios são convergidos pela lente O, no olho B, para reduzir seu tamanho, assim como o objeto X distribui seus raios pela lente P, no olho C, para aumentar seu tamanho. Fica evidente, para Descartes, que as lentes que corrigem os defeitos do olho B, precisam diminuir a quantidade de raios do objeto V para ele ser visto com mais nitidez, assim como as que corrigem os defeitos do olho C precisam de maior quantidade de raios para que o objeto X seja visto com mais perfeição:

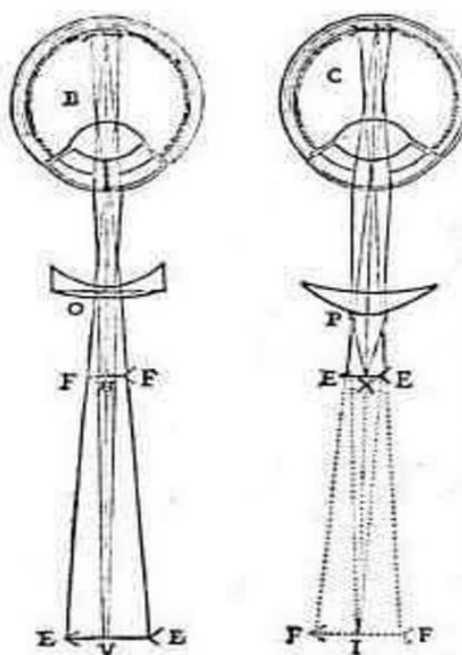


Figura 13 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 151)

Para além desta constatação, fica ainda mais evidente, segundo Descartes, que o tamanho das imagens, o que se forma no fundo dos olhos, depende da distância, lugar e refração, conforme Figura 10 mais acima. Nela, Descartes observa a determinação do desvio dos raios de luz, que emergiram de diversos objetos em seus respectivos lugares, depois de conhecida a relação existente entre força e distância pela lei de refração. Com a determinação do desvio, chega-se à conclusão evidente de que as imagens se formam na posição invertida no fundo do olho. Essa evidência, a partir de agora, coloca Descartes perante a condição de encontrar figuras mais apropriadas para a construção de lentes das lunetas, com base em algumas observações que fez com as lentes instaladas num tubo cheio de água e com um tubo sólido de vidro, após comparar a produção das imagens produzidas por esses tubos com àquelas produzidas na Figura 10.

Uma terceira evidência é constatada a partir do estudo de três lentes interpostas, cada uma delas com a função de aumentar ou diminuir a pupila, utilizando a proporção existente pelo aumento e redução de força dos raios que atravessam essas lentes:

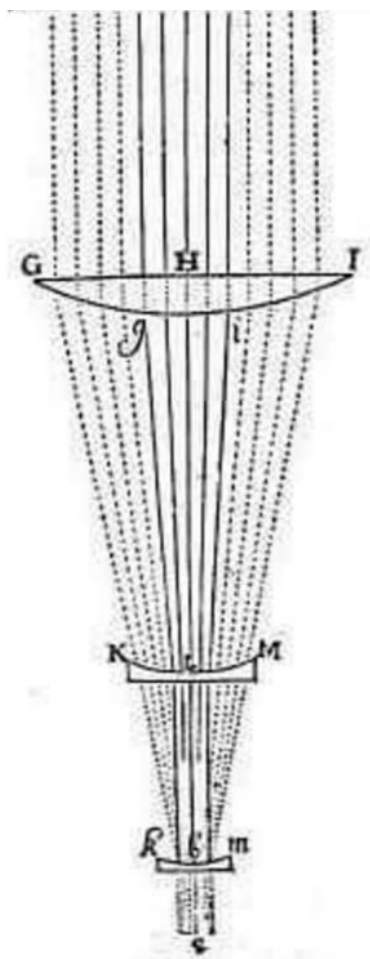


Figura 14 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 181)

Aqui, Descartes chega a uma configuração geométrica, com a qual se examina o desvio dos raios refratados ao atravessar superfícies interpostas, para imitar a abertura da pupila. Conclui-se, portanto, que a distância k e m da lente tem seu diâmetro reduzido para assim aproximar a figura que está em S , e com as linhas SkG e SmI , o diâmetro GI será o da abertura encontrada, maior que gi , na mesma proporção em que a linha SL está para Sl .

Se Sl é uma linha na mesma proporção do diâmetro da lente klm , a visão fica mais clara ao tornar os objetos mais próximos, quando eles são acessíveis à visão. Quando os objetos são inacessíveis e precisam ser vistos por intermédio das lunetas, o tamanho de seu tubo é determinado de acordo à proporção existente entre SL e Sl , que é a mesma de LH . Nesse caso, gi concentrará a mesma quantidade de raios de Gg e iI para ampliar o objeto inacessível a olho nu.

b) Ordem da síntese

Oitavo Discurso (das figuras que devem possuir os corpos transparentes para desviar os raios pela refração de todos os modos que servem à visão):

Antes de mais nada, Descartes vê aqui a necessidade de explicar como devem ser as elipses e hipérbolas, pois elas são figuras, segundo ele, mais simples e fáceis de conhecer e irão desempenhar papel importante para que se conheça a curva ideal para a construção de lentes para as lunetas²⁵¹. Essa explicação é dada na *Dióptrica*, mas na *Geometria*, há também uma exposição de como as curvas devem ser classificadas, a partir do problema de Pappus, e de como as propriedades das ovas podem ser definidas pelos raios da reflexão e refração. A partir disso, ele também explica, na *Geometria*, que a descrição das elipses e hipérbolas mostra como as propriedades das ovas são importantes ao torná-las úteis para sua teoria Catóptrica e Dióptrica, ao encontrar a relação existente entre os pontos de uma linha curva e os pontos de uma linha reta: “Pois, só a partir disso conhecemos a relação que têm todos os pontos de uma linha curva com os de linha reta, da maneira como expliquei, é fácil também encontrar a relação que eles têm em todos os outros pontos e linhas dadas” (AT, VI, 1973, p.

²⁵¹ Newton não vê vantagem em buscar, na curva hiperbólica, a melhor figura para determinar o melhor tipo de lente para construção de lunetas. Para ele, esse tipo de lente não corrige os defeitos cromáticos e esféricos. Já seu telescópio refletor, com lentes planas, amplia muito mais as imagens de objetos inacessíveis a olho nu, e, além disso, as lentes hiperbólicas, segundo ele, não corrigem totalmente os defeitos cromáticos e esféricos dos quais Descartes busca corrigir.

412)²⁵². Ademais, a *Dióptrica* fornece explicação detalhada sobre essas figuras a fim de conduzir as operações da demonstração sintética para a construção do melhor tipo de lente para as lunetas. Com ela, a construção e prova da composição geométrica serão fornecidas a fim de demonstrar que, pela lei de refração, todas as proporções podem ser encontradas para então definir o modo como as lentes podem ser polidas e assim aproximar os objetos inacessíveis à visão.

Considere que, do ponto de vista da resolução analítica, a lei de refração deu origem à demonstração do mesmo efeito em situações diferentes, quais sejam, em superfícies planas, transparentes, maleáveis e esféricas, conforme o que foi demonstrado no Segundo Discurso. Agora, a mesma lei permite a dedução de outro efeito, isto é, o da junção da maior quantidade de raios em um único ponto para aumentar o tamanho das imagens, efeito este produzido em circunstância distinta do que foi deduzido no Segundo Discurso.

É importante observar que, a partir desse Discurso, a forma mais enfática de separar a análise da síntese é a ausência de apelo experimental. Batistti observa que na exposição da síntese, ao explicar a causa do arco-íris, Descartes deixa de fazer o expediente heurístico da experiência, “[...] o que evidencia que não estamos mais no horizonte da descoberta, mas da prova” (2002, p. 328). Onde começa a resolução termina a redução que, por sua vez, é necessária ao exame dos problemas das ciências físicas, buscando explicar a natureza problemática do modo como o movimento se manifesta nas sensações.

Se a análise é exegética é porque, na redução, elimina a ilusão dos sentidos e tira do confuso e obscuro o que é mais simples e fácil de conhecer, particularmente quando se reduz a experiência à suposição por analogia. Sendo assim, o caminho da síntese dispensa a experiência heurística, pois a lei de refração é a causa necessária, portanto, *a priori*, das demonstrações que se produz a seguir: construção e prova. Enquanto a análise é exegética, ao examinar cada parte de um problema a fim de resolvê-lo pela regra da evidência, a síntese só é pedagógica quando demonstra a verdade contida em sua composição, em razão de convencer e satisfazer o espírito de quem deseja aprender, porém, ela é apagógica e constrangedora se a análise for capaz de resolver um problema sozinha: “[...] construção da

²⁵² “Or, de cela seul qu'on fçait le rapport qu'ont tous les poins d'une ligne courbe a tous ceux d'une ligne droite, en la façon que j'ay expliquée, il est ayfé de trouer auffy le rapport qu'ils ont a tous les autres poins & lignes dounées”.

síntese é pedagógica, lógica e mais adiante, apagógica, quando a construção da análise é objetiva, real e sempre ostensiva” (VUILLEMIN, 1960, 165)²⁵³.

Ao contrário do que se pode pensar, a síntese encerra o expediente heurístico das suposições e comparações ao iniciar à construção e prova a seguir. Não há como se pensar no uso de suposição fora da redução analítica como quer Sabra: “Ou seja, a *Dióptrica* retoma o argumento dedutivo e o segundo passo da síntese, onde as analogias não são apenas admissíveis, mas sim exigida pela natureza do problema” (1981, p. 33)²⁵⁴. Onde não há mais comparação há resolução, e onde começa a síntese, não há vestígio de comparações. O que se vê, na ordem sintética, são sucessivas demonstrações com evidência Matemática, extraídas da lei de refração que exige construção e prova.

Sabendo que refração e reflexão resultam da classificação das propriedades das ovas, a relação existente entre a determinação dos pontos das linhas curvas e dos pontos das linhas retas descrevem a configuração das elipses e hipérbolas. Sendo elas o que há de mais simples e fácil a conhecer, o expediente sintético tem início com três composições geométricas²⁵⁵: 1) com as superfícies planas de dois vidros plano-convexos, onde os vidros DBQ e *dbq* se juntam para unir os raios que vem de I; 2) com as superfícies planas de um vidro plano-convexo com outro plano-côncavo, onde os vidros DBQ e *robd* se juntam para afastar os raios que vem de I ; 3) com as superfícies planas de dois vidros plano-côncavo, onde um dos vidros *robd* afasta os raios que saem para o ponto I, e o outro junta os raios que emergem no lado contrário. Esses vidros representam a configuração geométrica das linhas curvas e planas, o que já foi definido pelas propriedades das ovas a fim de assegurar a proporção existente entre os pontos das linhas curvas e os pontos das linhas retas. Sendo assim, a configuração geométrica abaixo parece clara, “[...] que é necessário apenas abrir os olhos e considerar as figuras para compreender” (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 185)²⁵⁶:

²⁵³ “[...] la construction de la synthèse est pédagogique, logique et, le plus souvent, apagogique, quand la construction de l’analyse est objective, réelle et toujours ostensive.”

²⁵⁴ “That is to say, the Dioptric takes up the deductive argument at the second step of synthesis where analogies are not only permissible but, rather, required by the nature of the problem.”

²⁵⁵ Composição é termo análogo à construção. Descartes, Nas *Segundas respostas*, ao mostrar como se imita a síntese dos geômetras para demonstrar a existência de Deus, refere-se à síntese como a via que demonstra por composição. Se a análise divide, a síntese junta o que antes estava separado pelos efeitos naquilo que compõe a verdadeira causa.

²⁵⁶ “[...] qu’il est seulement befoin d’ouvir les yeux & de confiderer les figures pour l’entendre”.

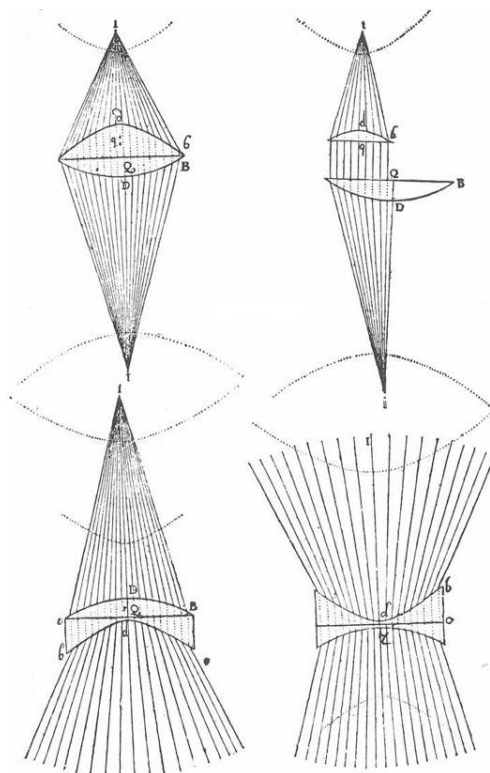


Figura 15 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 184)

Tendo a clareza dessas configurações, o próximo passo segue na direção da prova e com ela Descartes tem a finalidade de demonstrar a figura ideal para a construção de lentes para telescópios: a hipérbole. Na Regra VIII, há uma exposição do conhecimento já existente sobre a lei de refração:

Se, alguém que estuda apenas matemática, procura esta linha, que em dióptrica é chamada de anaclástica, e na qual os raios paralelos são refratados de tal forma que todos, após a refração, se encontram em um único ponto, é fácil ver, de acordo com as regras cinco e seis, que a determinação dessa linha depende da razão dos ângulos de refração pelos ângulos de incidência (DESCARTES, 1999, p. 62)²⁵⁷.

Por ser relativa, a lei exige construção e prova para que outros efeitos sejam dela deduzidos e mostre também sua eficácia em circunstâncias distintas. Portanto, Descartes conclui que é evidente que os vidros hiperbólicos são melhores e mais adequados que os elípticos, pois os raios GIK são separados do vidro hiperbólico DEF após penetrá-lo, ao

²⁵⁷ “Si quelqu’un qui n’étudie que les seules mathématiques cherche cette ligne, qu’en dioptrique on nomme anaclastique, et dans laquelle les rayons parallèles se réfractent de manière que tous, après la réfraction, se rencontrent en un seul point, il s’apercevra facilement, d’après les règles cinq et six, que la détermination de cette ligne dépend du rapport des angles de réfractations aux angles d’incidence”. Apesar da lei de refração se tornar conhecida em 1637, ocasião em que Descartes publicou seus *Ensaio*s científicos, a lei já era conhecida nas *Regras para a direção do espírito*, que devem ter sido compostas por volta de 1628, mas que só foram publicadas em 1701, após a morte de Descartes, segundo Bridoux, editor de *Descartes: oeuvres et lettres*. Esta obra consta na bibliografia desta tese, com edição de 1999.

contrário dos raios que atravessam o vidro elíptico ABC e que se afastam menos nos pontos MHL, na direção das extremidades A e C da lente; ao passo que os raios MHL se afastam mais, nas extremidades D e F da lente hiperbólica, conforme configuração a seguir:

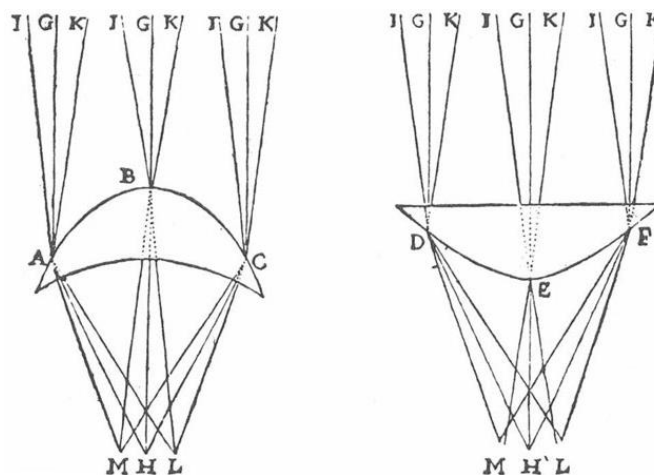


Figura 16 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 189)

Nas *Regras*, a curva anaclástica é um objeto matemático segundo o qual a ordem e a medida, como essência do método cartesiano, demonstram que a lei de refração é uma proposição relativa, uma vez que a natureza da luz é o que há de mais absoluto na cadeia dedutiva do edifício do conhecimento, mas que não tem, na *Dióptrica*, sua demonstração. No entanto, a proporção dada pela lei é o que determina a curva anaclástica, de acordo com a descrição da Regra VIII, que corresponde a composição geométrica da lente hiperbólica DEF, pois esta composição é resultado de um dos efeitos da lei dada esta circunstância.

Numa carta a Mersenne, datada em 13 de maio de 1638, Descartes se defende da acusação de plagiar Kepler, dizendo que a elipse e hipérbole do astrônomo não correspondem à anaclástica, entretanto, admite que Kepler foi seu primeiro mestre em Óptica. É importante considerar que a proporção encontrada pela lei de refração é o que determina a curva anaclástica e o conhecimento dessa lei Kepler ainda não possuía. A anaclástica, portanto, pressupõe um conhecimento posterior ao projeto de Kepler, que culminou num conhecimento imperfeito das lentes esféricas:

Foi a leitura dos livros de Kepler que o iniciou nas teorias da Óptica. Certamente mais tarde ele superaria seu mestre. Este, apesar dos mais pacientes e variados esforços, não havia encontrado a verdadeira lei da refração. Ele havia considerado teoricamente as lunetas, que tem lentes em ambas as extremidades, mas não viu o que é a anaclástica, ou seja, qual é a forma Matemática que a superfície do vidro deve ter para que os raios paralelos realmente se juntem, após a refração, em um único

ponto. As superfícies esféricas que ele usou lhe deram apenas uma solução aproximada para esse problema (MILHAUD, 1921, p. 98)²⁵⁸.

Logo, a curva anaclástica é a prova de que a lei de refração produz resultado significativo, no projeto cartesiano, de polir lentes para colocá-las nas extremidades das lunetas. Ainda assim, se faz necessário determinar o tamanho de seus tubos para enfim encontrar a proporção e adaptação das curvas hiperbólicas para as lentes de suas extremidades. Mas essas medidas são extraídas de suposições que produzem a dedução dessa determinação, devida à proporção existente entre a distância da lente e seu ponto ardente.

Não há regra para que a suposição prossiga sua explicação por analogia. Observe, em especial o Primeiro Discurso, que as suposições são extraídas das comparações entre objetos que causam em nós sensações. No Nono Discurso, a suposição é um expediente matemático, pois não se vê Descartes fazer apelo algum às sensações. Sendo assim, o Oitavo Discurso, pela ordem do conhecimento deduz suas configurações geométricas para provar que a hipérbole possui evidência Matemática o bastante para circunscrever a lente das lunetas, pondo fim à composição sintética. O que vem depois disso são descrições, que remetem às explicações de origem analítica.

Nono Discurso (a descrição das lunetas):

A partir desse Discurso, as suposições aqui são tomadas não mais como redução da experiência, como foi abordado mais acima no Primeiro e Segundo Discursos, mas como uma operação Matemática trivial do método cartesiano. O Nono Discurso enuncia, de antemão, que nele se fará uma descrição das lunetas, o que, do ponto de vista metódico, corresponde à explicação do tipo de material que deve compor e dispor em suas partes.

Com a evidência de que a curva hiperbólica é a melhor, inicialmente, Descartes examina o tipo de vidro a ser utilizado, na fabricação das lentes, e já faz um alerta sobre o tipo de vidro que deve ser evitado, para impedir, ao máximo, quantidade muito grande de raios que cause reflexão; o vidro deve ter transparência o bastante, que garanta sua pureza, a fim de

²⁵⁸ “ C'est la lecture des livres de Kepler qui l'a initié aux théories d'Optique. Certes, il devait plus tard dépasser son maître. Celui-ci, en dépit des efforts les plus patients et les plus variés, n'avait pas trouvé la véritable loi de la réfraction. Il avait considéré théoriquement les lunettes qui ont des lentilles aux deux bouts, mais il n'avait pas vu ce qu'est l'anaclastique, c'est-à-dire quelle est la forme mathématique que doit avoir la surface du verre pour que les rayons parallèles viennent concourir vraiment, après réfraction, en un point unique. Les surfaces sphériques dont il usait ne lui donnaient de ce problème qu'une solution approchée”.

evitar possíveis defeitos. Com isso, chega-se à conclusão de que o cristal da montanha, por causa da grande quantidade de reflexão, não é o vidro ideal na fabricação de lentes:

Tendo escolhido o vidro mais puro, o menos colorido e aquele que causa menos reflexão o quanto é possível, vemos corrigir, por seu meio, o defeito daqueles que não veem tão bem os objetos que estão um pouco mais afastados que os próximos, ou os mais próximos que os afastados, as figuras mais próprias para esse efeito são aqueles que traçam por hipérbolos (DESCRATES, AT, VI, 1973, p. 197-98)²⁵⁹.

Para efeito de uma descrição, supor que o tamanho do tubo da luneta deve guardar a proporção entre a distância da lente e o ponto ardente, assim como o tamanho da lente se define pela proporção entre a ardente e tamanho do tubo, é o que tornará a visão mais clara e perfeita dos objetos que estão mais afastados ou inacessíveis. Vale ressaltar que suposição, como etapa da redução, segue na direção daquilo que é mais fácil conhecer ou tenha evidência Matemática o bastante para que a resolução possa ser apresentada.

O ponto ardente é o ponto da lente que imita a abertura da pupila, ficando numa extremidade da luneta; sua lente deve ter sua borda adaptada a um corpo de superfície escura a fim de limitar a quantidade de raios ideais para a visão clara dos objetos. Nessa ilustração, Descartes se preocupa em estabelecer as proporções exatas de todas as partes da luneta, o material a ser utilizado também é objeto de exame para que os defeitos da visão possam, ao máximo, ser evitados. A figura das lentes de aumento deve se circunscrever na curva hiperbólica, já que as elipses são mais difíceis de se apoiar para cortar, tendo ambos os lados esféricos. As hipérbolos, em contrapartida, podem ser adaptadas em superfícies plano-convexas, plano-côncavas e biconvexas, dependendo da necessidade de se corrigir algum defeito visual:

²⁵⁹ “ Ayant donc ainfi choifi le verre le plus pur, le moins coloré, & celuy qui caufe le moins de reflexion qu'il eft poffible, fi on veut par fon moyen corriger le défaut de ceux qui ne voyent pas fi bien les obiets vn peu elloignés que les proches, ou les proches que les elloignés, les ligures les plus propres a cet effect font celles qui fe tracent par des hyperboles”.

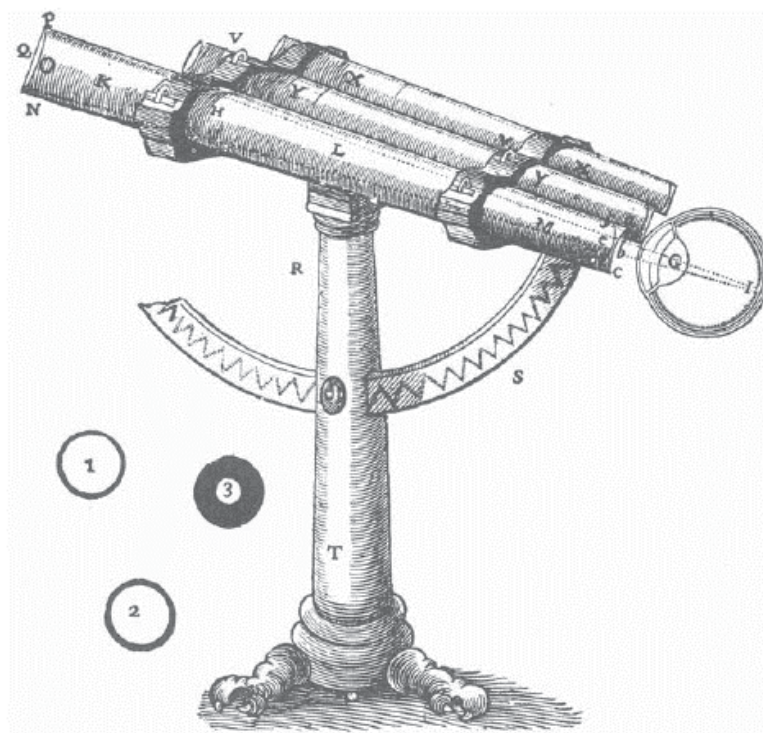


Figura 17 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 202)

Na descrição acima, Descartes mostra como deve ser a estrutura de uma luneta, onde a distância existente entre a superfície côncava abc e a ardente H guarda a proporção do tamanho do seu tubo, assim como a distância entre a superfície convexa def e a ardente I guarda a mesma proporção. Por sua vez, o diâmetro da lente plano convexa $NOPQ$ é definido pela proporção entre as distâncias IdN e IfP , tal como o diâmetro da lente côncavo-convexa $abcdef$ se define pela proporção entre as distâncias IGd e IGf . O arco S confere mobilidade à luneta para possibilitar o melhor ângulo de observação, fixada numa base RT .

Décimo Discurso (o modo de cortar os vidros)

Depois de explicar o modo como se constrói uma luneta, definindo as grandezas dos tubos e dos vidros para sua construção, Descartes agora realiza deduções a partir dessas grandezas, desenvolvendo um projeto de construção da máquina de polir lentes, aplicando a regra da evidência. O tipo de lâmina, por sua evidência, dá origem de uma explicação minuciosa dessa máquina, o que, na sexta parte do *Discurso do método*, mostra a necessidade de se ter habilidade necessária para construí-la: “Se os artesãos não puderem executar tão logo a invenção explicada na *Dióptrica*, não creio que por isso possa ser considerada ruim”

(DESCARTES, AT. VI, 1973, p. 77)²⁶⁰. Esse projeto, está fundamentado na medida das refrações. Ele define a lâmina, primeiramente, pela evidência da linha de corte que segue exatamente a figura da hipérbole NOP. Fica evidente, em segundo lugar, que o movimento das partes do cilindro QR descreve a mesma hipérbole NOP traçada pela lâmina KL. Assim, a máquina de polir lentes tem suas partes metodicamente projetadas, a fim de que o vidro possa ser polido na curvatura ideal da hipérbole. Para que o corte das lentes seja preciso, o instrumento de talhar requer medidas precisas da refração para assim melhor se adaptar o corte à construção da máquina:

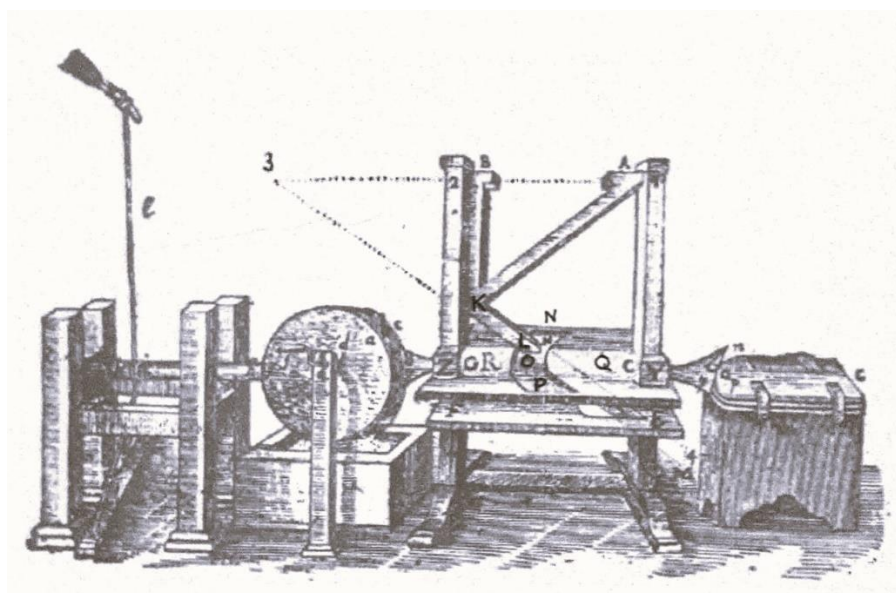


Figura 18 (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 218)

É salutar aproximar o conteúdo desse projeto às cartas escritas a Ferrier em 1629. O princípio da máquina de Descartes é sempre o mesmo: obter uma peça cortada em hipérbole, como seção de um plano fixo pelo gerador dos cones nas extremidades YZ, fixadas no cilindro QR em revolução. Dentre tantas orientações a Ferrier, chama atenção as da carta em que Descartes ensina detalhadamente o modo de traçar a curva hiperbólica para adaptá-la as ferramentas que fazem o corte dos vidros e o polimento das lentes (Cf. DESCARTES, AT, I, 1973, pp. 53-69). Mais tarde, em dezembro de 1635, Descartes volta a falar da máquina de polir lentes a Huygens, e que a proporção entre força e distância foi o que tornou o polimento das lentes, pela máquina, bem-sucedido (*Ibid.* AT, I, 1974, pp. 335-6). Do ponto de vista prático, constata-se que Descartes dominava a arte técnica de construir equipamentos que lhe

²⁶⁰ “Que fi les artifans ne peuuent fi toft exécuter l'inuention qui eft; expliquée en la Dioptrique, ie ne croy pas qu'on puiffe dire, pour cela, qu'elle foit mauuaife.”

servissem de instrumento de aperfeiçoamento óptico:

A correspondência sobre moagem de lentes hiperbólicas é importante porque revela uma visão dos hábitos de trabalho de Descartes que é raro, pois circunstâncias especiais exigem que ele exponha assuntos muito práticos com algum detalhe. Suas trocas com Ferrier mostram que ele possui algumas habilidades básicas de engenharia, por exemplo, com uma boa apreciação de questões práticas relacionadas ao atrito, vibração e as qualidades de diferentes tipos de materiais de polimento (GAUKROGER, 1997, p. 192)²⁶¹.

Antes mesmo de Descartes escrever esse ensaio, tudo o que se revela nas *Regras* e no conteúdo das cartas a Ferrier, mostra que o conhecimento da lei de refração já tinha sido obtido. Coincide, então, com o que Descartes pensou como método, cuja estrutura sistemática perseverou não apenas na disciplina cognitiva que se requer para conhecer o desconhecido, mas também na busca de evidência Matemática, nos problemas físicos, para que todas as questões complexas possam ser examinadas pelo rigor de pensamento.

5.3) Experiência e Matemática na *Dióptrica*

Muito se discute sobre o fato de Descartes trazer a experiência para interior de sua obra, em especial, nos *Ensaio*s. Como o objeto desse estudo é a *Dióptrica*, todo esforço estará concentrado em estabelecer um debate construtivo e também provocativo sobre o entusiasmo racionalista de Descartes, no qual o pensamento rigoroso e sistemático dá primazia ao conhecimento dedutivo. Diante de um saber metódico, que busca evidência Matemática nas ciências físicas, qual o valor epistêmico da experiência na estrutura arquitetônica do método cartesiano? Essa é uma pergunta que pode ser respondida equivocadamente quando se ignora o valor epistêmico de cada etapa do método cartesiano. Não se pode dizer, por exemplo, que Descartes foi um exímio experimentador, como diz Milhaud, “[...] um experimentador perfeito” (1921, p. 197)²⁶²; quando, na verdade, ele apenas se dispõe a “explicar” como os efeitos, que são produzidos na experiência, podem ser reduzidos a uma suposição, sem, portanto, “provar” sua causa real. É a partir dos efeitos que uma investigação científica

²⁶¹ “The correspondence on grinding hyperbolic lenses is important because it reveals an insight into Descartes’ working habits that is rare, for special circumstances require that he set out very practical matters in some detail. His exchanges with Ferrier show him to have some basic engineering skills with, for example, a good appreciation of practical questions concerning friction, vibration, and the qualities of different types of grinding materials.” No ensaio, Descartes menciona que a roda de polimento pode conter grés, esmeril, tripoli, poteia, ou qualquer outro material que possa servir para cortar ou polir lentes.

²⁶² “[...] expérimentateur parfait”.

começa, porém, eles nada provam, embora seja com eles que os objetos das ciências naturais se delimitam.

A natureza do movimento só pode ser conhecida com ajuda da experiência, sendo facilmente comunicada à percepção sensível, em muitas ocasiões. Com efeito, “[...] no que diz respeito às experiências, elas são muito necessárias quanto mais avançado se está no conhecimento”²⁶³ (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 63). Esta passagem do *Discurso do método* pode ser a origem de interpretações que separam experiência de seu valor epistêmico no método, pois não se pode perder de vista que é com ela que se observam os efeitos para assim chegar “à constatação empírica dos fatos que a Física tem por objeto explicar” (GILSON, *Apud in* DESCARTES, 1987, p. 451)²⁶⁴. Mais uma vez vemos que a experiência nada prova, apenas explica.

Ainda que as ciências naturais façam forte apelo à experiência, pois ela é seu objeto particular de investigação científica, a ciência cartesiana a vê como apoio ao raciocínio. Não que ele pensasse ser a experiência dispensável às ciências físicas. No Prefácio aos *Princípios*, ele demonstra interesse na realização de experimentos, porém, seu interesse implica em grandes gastos financeiros e só o financiamento público poderia dar o suporte necessário para esse empreendimento:

[...] e ainda não me sinto tão velho, não desafio tanto minhas forças, não me encontro tão distante do conhecimento do que resta, que não ousaria finalizar esse plano se tivesse a conveniência de fazer todos os experimentos que eu precisaria para apoiar e justificar meus raciocínios. Mas vendo que isso exigiria uma grande despesa que um particular como eu, não seria muito se houvesse ajuda pública, e vendo que não deveria esperar por essa ajuda, creio que devo doravante contentar-me em estudar para minha instrução particular, e que a posteridade me desculpará se eu deixar de trabalhar por ela (DESCARTES, AT, IX, 1996, p. 17)²⁶⁵.

²⁶³ “[...] touchant les expériences, qu’elles font d’autant plus nécessaires, qu’on est plus avancé en connoissance”.

²⁶⁴ “La constatation empirique des faits que la physique a pour objet d’expliquer”.

²⁶⁵ “& je ne me sens point encore si vieil, je ne me défie point tant de mes forces, je ne me troue pas si éloigné de la connoissance de ce qui reste, que je n’osasse entreprendre d’acheuer ce dessein, si j’avois la commodité de faire toutes les expériences dont j’aurois besoin pour appuyer & justifier mes raisonnemens. Mais voyant qu’il faudroit pour cela de grandes dépenses, auxquelles vn particulier comme moy ne fçauroit suffire, s’il n’estoit aidé par le public, & ne voyant pas que je doive attendre cet ayde, je croy deuoir d’oresnauant me contenter d’estudier pour mon instruction particulière, & que la posterité m’excusera si je manque à travailler désormais pour elle”.

Isto não torna sua investigação menos rigorosa, mas a aplicação de leis físico-mecânicas compromete a ciência do movimento de Descartes, tal como Fermat identifica quando examina o conceito de determinação na lei de refração. Segundo ele, Descartes deveria incluir nela medidas de velocidade, pois o sentido de direção, dado à trajetória do raio no meio transparente, se confunde com pressão. Fermat segue caminho diferente, a proporção encontrada nos senos de incidência e refração é a mesma da lei dos senos de Descartes, porém, ele introduz a velocidade na razão dos senos (MOREIRA, 1998, p. 157). A ciência cartesiana então mantém seus elos muito firmes em cada etapa demonstrativa, e isto consiste no rigor sistemático de seu método, e fica difícil imaginar Descartes substituir o sentido de direção pelo da velocidade para definir determinação. Uma possível substituição do conceito de determinação, embora não altere a proporção da lei, pode trazer consequências epistêmicas significativas a ponto de fazer com que o sistema cartesiano caia por terra. Introduzir a experiência na estrutura do método pressupõe tirar algo, que já está fixo dentro do próprio sistema, para colocar outro, ou seja, significa comprometer sua estrutura arquitetônica ao substituí-lo. A transmissão instantânea da luz traz com ela esse perigo, pois, se sua trajetória é definida em termos de direção, ou seja, numa determinação que se dá num instante, renunciá-la seria colocar intervalos de tempo em sua propagação e todo resto de sua teoria da luz desabaria:

[...] se alguém, carregando uma tocha na mão a noite e fazendo-a mover, lança sua visão em um espelho a um quarto de légua de distância, poderá facilmente percebê-la e sentirá o movimento de suas mãos antes de vê-la por meio do espelho [...] eu disse que se encontrasse nisso o menor intervalo de tempo, eu estaria pronto para confessar que toda a minha Filosofia estaria completamente equivocada (DESCARTES, 1874, p. 2599)²⁶⁶.

Portanto, manter o conceito de direção, na transmissão instantânea da luz, lhe trouxe uma vantagem: a de não precisar renunciar seu método e toda estrutura de conhecimento que ele contém, em razão do problema que a experiência traria ao se tornar necessária para medir a quantidade de movimento. O máximo que a experiência pode fazer é introduzir o problema para que tão logo a redução seja feita por suposição.

²⁶⁶ “[...] si quelqu’un, portant de nuit un flambeau à la main et le faisant mouvoir, jette la vue sur un miroir éloigné de lui d’un quart de lieue, il pourra très aisément remarquer s’il sentira le mouvement qui se fait en sa main, auparavant que de le voir par le moyen du miroir [...] je disais que s’il se rencontrait en cela le moindre intervalle de temps, j’étais prêt de confesser que toute ma philosophie était entièrement renversée”.

Com Garber, o exame da experiência o coloca diante de uma interpretação satisfatória sobre o uso de suposições, que reduz a experiência na ordem das demonstrações. Se não se sabe qual é sua função na redução, as suposições podem ser confundidas como princípios *a priori*, no sentido lógico. Porém, no sentido cronológico, é apenas o que vem primeiro, na ordem das demonstrações, e possui evidência Matemática ao reduzir as percepções sensíveis àquilo que é mais simples e fácil de conhecer, a fim de iniciar a dedução dos efeitos. Quando Morin questiona o uso de suposições e acusa Descartes de cometer círculo lógico, comete esse erro interpretativo a partir de uma passagem do *Discurso* que confunde, à primeira vista, o caminho dos efeitos às causas e das causas aos efeitos:

Se certas coisas das quais falei no início da Dióptrica e Meteoros chocam à primeira vista, porque as denomino suposições e não me parece desejar prová-las, que se tenha paciência de ler tudo com atenção e espero que se satisfaça. Pois me parece que as razões se entrelaçam de tal modo que as últimas são demonstradas pelas primeiras, que são as causas, essas primeiras são reciprocamente pelas últimas, que são seus efeitos. E não se deve imaginar que cometo o que os Lógicos chamam de círculo, pois a experiência toma a maior parte desses efeitos muito certos, as causas das quais os deduzo não servem tanto para prová-los, mas para explicá-los (DESCARTES, AT. VI, 1973, p. 76)²⁶⁷.

Quando Descartes pede que se examine com atenção o que ele diz, observe que, ao dizer que as últimas razões são demonstradas pelas primeiras (causas) e as primeiras pelas últimas (efeitos), a ênfase aqui é mostrar em que consiste a ordem das demonstrações, pois o duplo modo de demonstrar coloca em oposição “explicação” e “prova” do mesmo modo como as causas se opõem aos efeitos. As suposições assumem seu lugar demonstrativo na explicação, em oposição à causa que, na ordem das demonstrações, é princípio com o qual se prova como os efeitos dependem das causas; tanto explicação quanto prova são inconfundíveis na ordem das demonstrações. Portanto, essas suposições, para que produzam a dedução dos efeitos, são como se fossem princípios: “Dizer que as causas são “provadas pelos efeitos”, como faz Descartes, sugere muito fortemente que as causas conjecturadas são

²⁶⁷ “Que fi quelques vues de celles dont i'ay parlé, au commencement de la Dioptrique & des Météores, chocquent d'abord, a caufe que ie les nomme des fuppositions, & que ie ne femble pas auoir enuie de les prouuer, qu'on ait la patience de lire le tout auec attention, & i'efpere qu'on s'en trouuera fatifait. Car il me femble que les raifons s'y entrefuiuent en telle forte que, comme les dernières font démonftrées par les premières, qui font leurs caufes, ces premières le font réciproquement par les dernières, qui font leurs effets. Et on ne doit pas imaginer que ie commette en cecy la faute que les Logiciens nomment vn cercle ; car l'expérience rendant la plus part de ces effets très certains, les caufes dont ie les déduits ne feruent pas tant a les prouuer qu'a les expliquer”.

estabelecidas como verdadeiras pelo fato de serem capazes de explicar os fenômenos observados” (GARBER, 2001, p. 115)²⁶⁸.

Na carta de 13 de julho de 1638 destinada a Morin, Descartes mais uma vez mostra a importância de se ler com cuidado o que ele escreve, a fim de identificar a distinção real entre “explicar” e “provar” e, apesar de se problematizar o significado desse duplo modo de demonstrar, deve-se observar que a experiência é condição da demonstração *a posteriori*, no sentido lógico, sendo ela secundária, no raciocínio dedutivo, pois “[...] tem apenas um papel subordinado, seja para detectar, dentre várias hipóteses, aquela que se encontra efetivamente realizada da natureza, seja para ir além das causas pelos efeitos” (BELAVAL, 1960, p. 475)²⁶⁹. O sentido lógico da demonstração *a posteriori* está expresso no *Discurso do método*, e o que se vê é a experiência desempenhando um papel provisório no método de análise.

Um filósofo que busca evidência Matemática nos problemas físicos não poderia se satisfazer com um conhecimento probabilístico, como é o caso daquele que tem origem na experiência ou nos silogismos. O probabilismo não vale como princípio do sistema dedutivo em questão, nem alhures se pode imaginar que o conceito de verdade possa trazer consigo a incerteza da probabilidade. A Regra II assevera que o conhecimento que nasce do espírito não aceita a incerteza e nem precisa do consentimento de um conhecimento quiçá provável: “[...] nós rejeitamos todos os conhecimentos que são apenas prováveis e decidimos que devemos dar assentimento somente sobre aqueles que são perfeitamente conhecidos e dos quais não se pode duvidar” (DESCARTES, 1999, p. 39)²⁷⁰. Há, portanto, a presença de um esforço cognitivo, na condução da descoberta, para que a ciência cartesiana possa adaptar a percepção sensível à clareza e distinção, o que, nas *Regras*, orienta a busca da disciplina universal na direção da ordem e a medida, essência da demonstração sistemática.

No Primeiro Discurso da *Dióptrica*, inicialmente se têm observações que se realizam na experiência ordinária, como no caso das analogias da bengala do cego, da cuba de vinho e da bola na raquete, que podem ser vividas no cotidiano de qualquer indivíduo, em razão de ser fisicamente acessível aos sentidos: “A Física de Descartes é, portanto, uma Física do senso comum, porque só invoca aquilo que todos sempre conhecem” (GILSON, *Apud in*

²⁶⁸ “To say that the causes are “proved by effects,” as Descartes does, suggests very strongly the causes conjectured are established as true by the fact that they are capable of explaining the observed phenomena.”

²⁶⁹ “[...] n'a qu'un rôle subordonné soit pour décèler laquelle, entre plusieurs hypothèses, se trouve effectivement réalisée dans la nature, soit pour aller au-devant des causes par les effets”.

²⁷⁰ “[...] nous rejetons toutes les connaissances qui ne sont que probables, et nous décidons qu'il ne faut donner son assentiment qu'à celles qui sont parfaitement connues et dont on ne peut douter”.

DESCARTES, 1987, p. 475)²⁷¹. Já no Segundo Discurso, Descartes introduz suposições, a fim de que se possa reduzir a experiência ordinária às configurações geométricas para explicar os diversos efeitos da transmissão da luz em diferentes meios transparentes. No entanto, essas configurações são provisórias, já que a resolução é um procedimento mais efetivo, na ocasião da descoberta da lei de refração. A experiência fornece as constatações iniciais, mas a dedução é o que fornece a solução do problema, sendo a condição heurística para orientação propedêutica do pensamento. Por isso, “[...] todo resultado estabelecido por indução é apenas provável: ele permanece afetado pela dúvida antes que a demonstração intervenha e garanta sua validade” (TOURNADRE, 1982, p. 304)²⁷². O probabilismo indutivo invoca a força da ordem das demonstrações para que a evidência Matemática faça ver a causa que só a dedução alcança.

O Terceiro, Quarto e Sexto Discursos são apenas descrições qualitativas, pois a fisiologia do olho, a natureza dos sentidos e o sentido da visão não conduzem objetivamente as demonstrações que poderiam levá-las a evidência Matemática. Já o Quinto e o Sétimo Discursos possuem evidência, pois a lei de refração deriva a dedução da inversão das imagens no fundo do olho e da hipérbole como o melhor tipo de curva para construção de lentes, sem, no entanto, consolidar uma composição sintética, mas asseverando a eficácia da lei. Observa-se, contudo, que a composição sintética não é fornecida nesses discursos porque ainda se constata reduções geométricas das percepções sensíveis.

Somente no Oitavo Discurso, onde a composição sintética é construída, as suposições desaparecem de vez porque elas são condição de redução da percepção sensível e nada provam, mas apenas explicam; ao passo que o Nono e Décimo desencadeiam descrições técnicas do modo de polir lentes e de como construir a máquina para poli-las. A composição sintética é a etapa onde se fornecem provas *a priori* a partir da lei, que é o termo mais absoluto diante dos efeitos relativos que ela produz. Ao se referir à descoberta da proporção da lei, Sabra diz o seguinte:

Ele primeiro perceberá facilmente, por aplicação das Regras de análise e síntese, que a solução do problema depende do conhecimento da proporção exata observada em todos os raios paralelos que atravessam a superfície. Mas essa proporção ele

²⁷¹ “La physique de Descartes est donc une physique du sens commun, parce qu’elle ne fait appel qu’à ce que tout le monde a toujours connu [...]”.

²⁷² “[...] tout résultat établi par induction n’est que probable : il reste affecté du doute avant qu’intervienne la démonstration qui assure sa validité”.

não pode apenas determinar por meios matemáticos. Tudo o que ele seria capaz de fazer, como matemático, seria conjecturar alguma proporção ou outra, de acordo com a forma que ele determinaria a superfície. Mas isso não levaria à descoberta do que é desejado, mas apenas ao que está de acordo com sua suposição. Além disso, a Regra III o impede de tentar aprender a verdadeira Proporção com “os Filósofos ou obtê-la pela experiência”. Nosso matemático, se ele é incapaz de raciocinar além dos limites de sua ciência particular, deve parar neste ponto, pois está diante de um problema físico, não matemático (1981, p. 30)²⁷³.

Sabra não vê que o papel epistêmico da experiência concorda com a redução para conduzi-la ao saber dedutivo, pois as observações são insuficientes e necessitam de validação Matemática. A experiência é quem possui limites, e, apesar de ser objeto das ciências físicas, um conhecimento que se produz a partir dela requer fórmulas, cálculos e sistematização e é isto que Descartes fornece com a descoberta da lei: “A experiência, reduzida aos seus recursos, é insuficiente. Suas deficiências justificam a intervenção de teorias dedutivas. O interesse da dedução está nas fórmulas, no cálculo e na sistematização” (TOURNADRE, 1982, p. 304)²⁷⁴.

É evidente que a experiência é objeto de controle das ciências físicas. Mas esse controle se exerce com a supervisão da razão: “A experiência vem para apenas auxiliar a intuição e dedução. A razão parece reinar com a posição da experiência subordinada a um conselheiro confiável, o maior”²⁷⁵ (GARBER, 2001, p. 120). Em Descartes, experiência tem valor epistêmico, mas é provisório porque nada prova; por outro lado, por ser objeto das ciências físicas, assume a função de conduzir o pensamento, na direção da descoberta que o método de análise e síntese se propõe a fazer. Portanto, a análise só é problemática porque elimina a ilusão dos sentidos contida na experiência, assumindo função heurística ao reduzi-la àquilo que é mais simples e fácil conhecer, isto é, à suposição. O que se pode dizer é que a

²⁷³ “He will first easily realise, by application of the Rules of analysis and synthesis, that the solution of the problem depends upon knowledge of the exact proportion observed by all the parallel rays on their passage through the surface. But this proportion he cannot determine by mathematical means alone. All he would be able to do as a mathematician would be to conjecture some proportion or other in accordance with which he would then determine the shape of the surface. But this would not lead to the discovery of what is wanted, but only to what is in agreement with his assumption. Further, Rule III prevents him from trying to learn the true Proportion from 'the Philosophers or to gather it from experience.' Our mathematician, if he is unable to reason beyond the limits of his particular science, should stop short at this point, since he is faced with a physical, not a mathematic problem”.

²⁷⁴ “L’expérience, réduite à ses ressources, est insuffisante. Ses insuffisances justifient l’intervention des théories déductives. L’intérêt de la déduction réside dans les formules, dans le calcul et dans systématisation”.

²⁷⁵ “While experiment comes in, it is just an auxiliary to the intuition and deduction. Reason would seem to reign, with experiment in the subordinate position of a trusted advisor, at best.”

experiência só está subordinada à razão porque é, em si mesma, problemática e por isso “[...] a genialidade Matemática de Descartes e sua aptidão na síntese não poderiam complementar a experiência no encadeamento dos fenômenos” (TOURNADRE, 1982, p. 299)²⁷⁶. Não há espaço para reduções da experiência na síntese, que é essencialmente Matemática, pois onde há suposição, há também análise exegética para eliminar o que há de confuso e obscuro na percepção sensível; mas quando a experiência termina, a síntese começa com sua tarefa pedagógica de demonstrar o encadeamento lógico da causa aos efeitos, rompendo efetivamente com o probabilismo indutivo.

Após distinguir análise e síntese em Descartes, o exame do método, na *Óptica* de Newton, terá sequência no capítulo seguinte. Ao iniciar a exegese a partir da Questão 31, será identificada a presença de uma analogia existente entre Filosofia natural e método de análise e síntese, com origem na prática Matemática, suscitando uma discussão problemática sobre o uso dos conceitos matemáticos introduzidos na física óptica.

²⁷⁶ “[...] le génie mathématique de Descartes et son aptitude à la synthèse dans l’enchaînement des phénomènes ne pouvaient suppléer à l’expérience”.

CAPÍTULO 6 - O método de análise e síntese na *Óptica* de Newton

Já se mostrou que o método de análise e síntese é uma ferramenta importante na prática Matemática, que, em grande medida, atribui-se significados distintos para suas operações. Os Antigos, sobretudo os geômetras gregos, concebem a análise como um método de descoberta da coisa buscada, ao passo que a síntese é concebida como um caminho que pretende demonstrar a verdade da coisa encontrada. Descartes, como importante matemático moderno, passa a utilizá-lo na resolução de problemas; combinando álgebra simbólica e Geometria analítica, ele dá primazia ao procedimento de análise, que pode dispensar o da síntese, se o problema for resolvido ainda na análise. No entanto, Newton se apropria desse método na Matemática em outra condição, enfatizando a supremacia da síntese sobre a análise, pois esta exige validação daquela, ou então o problema pode ser solucionado sem que a análise seja efetivamente executada.

A partir desta consideração, o presente estudo busca discutir o método de análise e síntese na ciência experimental, fazendo um esforço para explicá-lo na *Óptica* de Newton, que, a partir da Questão 31, mostra que a análise, como procedimento útil para explicar o fenômeno luminoso, tem a função de investigar, por indução, casos particulares, fazendo observações ou experiências para chegar à causa geral; mas também cabe à etapa da síntese realizar outras observações ou experiências, na condição de realizá-las em circunstâncias experimentais distintas. Ademais, há também a necessidade de se discutir o papel da experiência e da Matemática na *Óptica* de Newton, que nos remete à dificuldade de ver os princípios matemáticos se adequarem aos experimentos. Deve-se considerar importante, na Questão 31, o porquê de Newton enunciar a presença de uma analogia entre Filosofia natural e o método de análise e síntese, da prática Matemática, o que suscita uma discussão problemática sobre o uso dos conceitos matemáticos inseridos na física óptica.

6.1) O método de análise e síntese no raciocínio matemático

Papus (século IV), como autoridade importante da Geometria grega, na *Coleção Matemática*, atribuiu ao método de análise a função de conduzir o caminho da descoberta. Esta é a maneira pela qual se busca o desconhecido, onde se parte das consequências às causas, para que se permita iniciar o caminho da síntese, que, por sua vez, parte da causa às

consequências, com o objetivo de estabelecer uma ordem natural para a composição da coisa buscada (*Apud in* TIMMERMANS, 1995, p. 27). Na Introdução de *Geometriae libri duo*, Newton examina essa *Coleção* a fim de formular sua crítica à análise dos antigos, e mostra que, no significado de análise e síntese, em Pappus, existe uma distinção importante entre “resolução” e “solução”, e que se atribui a esse método:

'Resolução'— isto é, análise — ‘é o caminho necessário de como considerar concebido, através do que segue, algo concebido na composição. Pois, em resolução, colocando o que é buscado como feito, consideramos quais chances de seguir, e depois, novamente seu antecedente, procedendo nesse caminho, até que acendamos sobre algo já conhecido ou numerado entre os princípios. E esse tipo de procedimento, que chamamos de *resolução*, é como se fosse uma *solução* inversa. Na composição, no entanto, colocando agora como feito o que assumimos pela última vez na *resolução* e aqui, de acordo com sua natureza, ordenando, como antecedentes, os que foram antes das consequências, ao final, combinando-os mutuamente, alcança o que é necessário. E esse método é chamado de composição’ (NEWTON, *apud in* PAPPUS, *Mathematicae Collectiones*, 1976, p. 249; grifo do autor)²⁷⁷.

Aqui, Newton enfatiza a diferença entre “resolução” e “solução” em Pappus, sendo a “resolução” uma etapa a ser cumprida numa solução “inversa”. Assim, a composição, também conhecida por síntese, é pensada como etapa necessária para se chegar à “solução”, seguindo sua ordem natural para que sua construção geométrica seja feita. Ora, se a composição se constrói numa solução necessária, Newton observa que, na prática dos antigos, a primazia da análise sobre a síntese prevaleceu pela visão geométrica de resolver o problema sem compô-lo aritmeticamente. Newton então percebe que os geômetras antigos conceberam a prova numa composição invertida— trata-se agora de construção geométrica -, que segue a direção do caminho da análise. Se a composição é solução e análise resolução, entenda-se por “prova resolvida” o tipo de demonstração que segue a ordem invertida da solução:

Nem nossa álgebra parece diferir de sua análise, exceto na mera maneira de sua expressão. Mas eles, compondo a prova resolvida, usavam demonstrações de suas descobertas de uma forma adaptada à capacidade comum de compreensão; enquanto mostramos a análise da

²⁷⁷ “‘Resolution’ - that is, analysis - ‘is the route from .the required regarded as granted through what thereupon follows to something granted in the composition. For in resolution, putting what is sought as done, we consider what chances to ensue, and then again, its antecedent, proceeding in this way till we alight upon something already known or numbered among the principles. And this type of procedure we call *resolution*, it being as it were a reverse *solution*. In composition, however, putting as now done what we last assumed in the *resolution* and here, according to their nature, ordering as antecedents what were before consequences, we in the end, by mutually compounding them, attain what is required. And this method is called composition”.

descoberta, estão menos preocupados quanto à sua composição. E, no entanto, a solução de uma questão consiste em sua composição (NEWTON, 1976, p. 251)²⁷⁸.

Newton se refere a uma prática comum entre os geômetras antigos. Se análise é como se fosse solução, é porque ela, além de inverter os passos da composição, por si só não soluciona o problema. A composição geométrica é a etapa em que se deve apresentar a solução do problema e, para isso, requer o uso da álgebra. De forma geral, os antigos realizavam a “prova”, com uso completo da análise geométrica, em detrimento da álgebra, não vendo, na composição, a chance de solucionar um problema efetivamente. Já para Newton, a análise é o caminho para o qual a resolução de problemas torna-se ferramenta apropriada para a descoberta, é o método pelo qual se reduzem os problemas a uma equação final:

Esses são os resultados aos quais os problemas devem ser trazidos. Mas antes de empreender sua resolução, é necessário ensinar o método de transformar as Equações, de reduzi-las, e chegar, pelas equações médias, às equações finais. Eu incluirei, nas regras a seguir, todos os meios de reduzir uma equação única. (NEWTON, 1802, p.71)²⁷⁹.

Na *Aritmética universal*, Newton traz a álgebra para dentro da aritmética, sendo que, no volume I, determina as grandezas para compor e decompor equações; no volume II, dedica-se a fazer demonstrações geométricas a partir das quais a construção linear das equações visa solucionar o problema. Portanto, a composição geométrica é o caminho que produz o encadeamento das equações e com o qual se constrói a solução do problema.

Com a retomada do método de descoberta dos antigos, os modernos aperfeiçoam o método de análise, constituindo a resolução de problemas por meio de equações da álgebra simbólica. Descartes é um dos modernos que não só aperfeiçoa as técnicas da álgebra, mas também nos mostra, em *A Geometria*, uma introdução à Geometria analítica sobre a qual é possível desenvolver um sistema de coordenadas capaz de unir álgebra e Geometria. No *Discurso do método*, Descartes fala brevemente dos benefícios dessa união quando uma corrige os defeitos da outra (Cf., 1996, AT VI, p. 20). Ao aplicá-la, nas ciências naturais,

²⁷⁸ “Nor does our algebra seem to differ from their analysis except in the mere manner of its expression. But they in composing the resolved proof used to shape demonstrations of their findings in a form adapted to the common capacity to comprehend; whereas we exhibit the analysis of the finding and are less solicitous about its composition. And yet the solution of a question consists in its composition.”

²⁷⁹ “Tels sont les résultats auxquels les problèmes doivent être ramenés. Mais avant d'entreprendre leur résolution, il est nécessaire d'enseigner la méthode de transformer les Equations, de les réduire, et d'arriver par les équations moyennes aux équations finales. Je renfermerai dans les règles suivantes tous les moyens de réduire une équation unique.”

Descartes segue o modelo da análise geométrica de Pappus, no Discurso VIII de *Os meteoros*, onde se examina o fenômeno do arco-íris como um objeto da experiência sensível.

Mas Newton assume posição divergente ao considerar superior a Geometria dos antigos. Embora tenha mostrado, na *Aritmética universal*, a função resolutive da análise, é lá, onde ela desaparece, que a síntese começa. Segundo Guicciardini (2002, p. 324), Newton é defensor da Geometria euclidiana, que é essencialmente sintética e se constitui como seu modelo preferido ao considerar o método analítico apenas uma ferramenta heurística importante; sua função essencial é descobrir, por isso é apenas resolutive. Esse método, porém, assume um papel preponderante em sua descoberta do cálculo dos infinitesimais, o que permite evoluir para o padrão geométrico, no método sintético, que é mais rigoroso e indispensável ao procedimento de análise. Para compreender isso, deve-se salientar que o método de análise e síntese é estabelecido como sendo capaz de tratar de quantidades infinitamente pequenas, tal como Newton as forneceu em seu grande trabalho matemático, o *Método das fluxões e séries infinitas*, publicado durante 1670-1.

Segundo Guicciardini (*Ibid.*, p.313), a análise cartesiana é comum porque está restrita a “equações finitas”, mas, para Newton (1960, vol. II, p. 39), seus limites são ampliados por equações infinitas. Ocorre que, na análise cartesiana, essas equações só são comuns porque são constituídas pela redução do problema, quando o desconhecido é reduzido ao conhecido por suposição, mas, sendo simples, a síntese torna-se dispensável. Em Newton, a análise se torna indissociável da síntese (composição) porque, na *Aritmética universal*, a análise “[...] nos conduz pela mão à composição, mas só há a verdadeira composição, no instante onde a análise desaparece inteiramente, enquanto resta o menor traço, ainda não há a verdadeira composição” (NEWTON, II, 1802, p. 90)²⁸⁰. Lembre-se que, para Pappus, a análise é uma solução invertida, daí se conclui o porquê de Newton considerar a síntese a composição mais verdadeira. Fica evidente, portanto, sua preferência aos antigos geômetras, que preferiam as parábolas, ao invés das elipses, que são construídas por equações mais simples e com maior afinidade aos círculos (*Ibid.*, p. 89).

Há também a ideia de análise desproblematizada na Matemática, que é uma forma de mostrar como a análise depende da síntese:

²⁸⁰ “[...] nous mène comme par la main à la composition; mais il n'y a de vraie composition qu'à l'instant où l'analyse a entièrement disparu, tant qu'il en reste la moindre trace, vous n'avez point encore de véritable composition.”

Por um lado, [Newton] contesta que a análise algébrica, a resolução de uma equação, *basta* para resolver um problema geométrico: ainda é necessário, após ser também elevado ao ângulo abstrato das operações formais, descer para compor a verdadeira solução do problema que deve ser constituída por linhas retas ou curvas. Por outro lado, Newton vai mais longe ainda ao adotar, aparentemente, a tese de Hugo de Homérique, segundo a qual a análise geométrica dos Antigos progride mais seguramente e mais rapidamente que a álgebra (análise) dos Modernos (TIMMERMANS, 1995, p. 204; grifo do autor)²⁸¹.

Esta é uma confirmação sobre a qual se revela a preferência de Newton, pois em seu estudo detalhado sobre a Geometria de Pappus, Euclides e Apolônio, temos não só sua oposição aos geômetras modernos, mas também a constatação de que a resolução do problema, na análise geométrica dos Antigos, é apenas uma redução heurística, mas a solução só poderá ser executada por composição geométrica requerida (NEWTON, 1974, p. 81). Ou seja, o problema só poderá ser solucionado se a síntese geométrica for exigida, porque será nela que se constituirá a verdadeira composição.

Com isso, o método de análise concebido por Newton, na Matemática, tem a função de se apropriar de quantidades infinitamente pequenas, e temos agora o exemplo de seu conhecido método das fluxões. Já na Filosofia experimental, torna-se desproblematizada quando se dirige a objetos da experiência sensível:

A análise não parte apenas de um *dado* (empírico) que, enquanto fica a questão, não é mais uma ficção ou um erro assumido como tal; enquanto, segundo Descartes, Spinoza ou Leibniz, ela partiu de uma incerteza tal que só a descoberta de alguma ordem absoluta, de alguma relação invariante podia satisfazer a busca. Ao contrário, segundo os herdeiros empiristas de Newton, ela partirá de um dado empírico e buscará a ordem na qual se inscreve esse dado: então, *é relativamente* a esse dado, não mais ao absoluto, que se medirá sua utilidade. Assim, se enganaria muito em pensar que a análise desproblematizada parte só e mais vitoriosa sem jamais encontrar causas reais: na realidade, para servir (alhores e imperfeitamente) a esse objetivo, ela requer necessariamente ou evoca desesperadamente uma *síntese* que confirmaria a *utilidade* do que ela descobre, em vista do dado do qual ela parte (TIMMERMANS, 1995, p. 205-206; grifos do autor)²⁸².

²⁸¹ “D’une part, il conteste que l’analyse algébrique, la résolution d’une équation, *suffise* pour résoudre un problème géométrique: encore faut-il, après s’être constituée de lignes droites ou courbes. D’autre part, Newton va plus loin encore na adoptant, semble-t-il, la thèse de Hugo de Homérique selon laquelle l’analyse géométrique des Anciens progresse plus sûrement et plus rapidement que l’algèbre (analyse) des Modernes.”

²⁸² “L’analyse ne part plus que d’un *donné* (empirique) qui, tout en posant question, n’est plus une fiction ou une erreur assumée comme telle; alors que selon Descartes, Spinoza ou Leibniz, elle partait d’une incertitude telle que seule la découverte de quelque ordre absolu, de quelque relation invariante pouvait satisfaire le

Conforme esta interpretação, a prática da análise, em Newton, se estende à verdadeira ciência e sobre a qual a experiência é seu ponto de partida, porém, a síntese passa a ser exigida para mostrar a utilidade concreta dessa análise. Será com essa interpretação que este estudo prosseguirá no exame da aplicação do método de análise e síntese, no Livro I e II da *Óptica*. E de lá será conduzido um exame sobre a síntese, usada como demonstração verdadeiramente científica, e que ela deixa de cumprir sua aplicação prática se não validar a utilidade da análise. Ainda que a síntese possa cumprir seu papel verdadeiramente científico, na Filosofia experimental, o processo de descoberta da análise tem lugar importante na indução newtoniana, pois ela desperta o olhar inquisidor na investigação científica.

6.2) O método de análise e síntese na *Óptica* de Newton

Como vimos acima, Newton se apropria do método de análise e síntese da Matemática, privilegia a síntese por razões práticas, mas seu significado matemático se introduzirá na Filosofia experimental. Fazendo um exame de suas etapas, será possível esclarecer o que de fato Newton executa na sua *Óptica*. Esta obra, lembremos agora, tem seu primeiro livro elaborado a partir das *Lições de Óptica*, de 1670 a 1672, e esse foi o período em que Newton desenvolveu uma série inaugural de aulas, enquanto atuava como professor lucasiano de Matemática da Universidade de Cambridge (Cf. SHAPIRO, 2002, p. 238). Além disso, é importante enfatizar que o conteúdo das *Lições* compôs apenas o Livro I da *Óptica*, com reformulações significativas. Newton o divide em duas partes, a Parte 1, aplicando o método de análise, realizando vários experimentos, a Parte 2, aplicando o da síntese, mas em outras circunstâncias experimentais. No original inglês, após a exposição das definições e axiomas, a Parte 1, do Livro I da *Óptica*, é denominado *proof by experiments*; entretanto, na Questão 31, parece apenas significar “demonstração”, um tanto quanto problemática. Ainda nessa parte, Newton busca mostrar em que circunstâncias os fenômenos luminosos aparecem ou podem ser produzidos para se descobrir a causa de seus efeitos, sobretudo por ser a descoberta um resultado da análise; já a Parte 2, *proof by experiments*, pode ser pensada como uma forma de usar o significado da verdadeira composição, pois a prova se dará na

chercheur. Par contre, selon le héritiers empiristes de Newton, elle partira d'un donné empirique et cherchera l'ordre dans lequel s'inscrit ce donné: c'est donc *relativement* à ce donné, et non plus dans l'absolu, qu'on mesurera son utilité. Ainsi l'on se tromperait lourdement en pensant que l'analyse, déproblématisée, part seule et plus victorieuse que jamais à la rencontre des causes réelles: en réalité, pour servir (d'ailleurs imparfaitement) ce but, elle requiert nécessairement ou appelle désespérément une *synthèse* qui confirmerait l'*utilité* de ce qu'elle découvre au regard du donné dont elle est partie.”

modificação das circunstâncias experimentais do que Newton descobriu na Parte 1 do Livro I, buscando validar a análise com a síntese.

Começamos então pela Questão 31 da *Óptica*, embora não revele o bastante sobre qual significado o método de análise e síntese assume na Filosofia experimental:

Como na Matemática, também na Filosofia natural a investigação das coisas difíceis pelo método da análise deve sempre preceder o método da composição. Essa análise consiste em fazer experiências e observações, em tirar conclusões gerais dadas por indução e em não admitir objeções contra conclusões gerais exceto aquelas que decorrem das experiências ou de algumas outras verdades. Pois as hipóteses não devem ser consideradas na Filosofia experimental. E, embora a argumentação pela indução, a partir das experiências e observações, não seja a *demonstração* de conclusão gerais, ainda assim é o melhor caminho de argumentação que a natureza das coisas admite, e pode ser considerada tanto mais forte quanto mais geral é a indução. E se não parece nenhuma exceção dos fenômenos a conclusão pode ser afirmada em termos gerais. Mas, se depois, em qualquer época, aparecer qualquer exceção relativa às experiências, ela poderá então começar a ser afirmada com as exceções que aparecem. Por esse caminho de análise podemos passar dos compostos aos ingredientes, e dos movimentos às forças que os produzem; e, em geral, dos efeitos às suas causas, e das causas particulares às causas mais gerais, até que o argumento termine na causa mais geral. Tal é o método de análise; e a síntese consiste em *admitir* as causas descobertas e estabelecidas como princípios, em explicar os fenômenos que delas procedem e em provar as explicações (NEWTON, 1993, p.543)²⁸³.

Este é um excerto um tanto enigmático, pois, o que Newton nos diz não é o bastante para explicar o que ele pratica na *Óptica*, pois não aprofunda ou desenvolve sistematicamente os conceitos de análise e síntese em Filosofia experimental. Inclusive, Shapiro (2004, p. 196)

²⁸³ “As in mathematics, so in natural philosophy, the investigation of difficult things by method of analysis, ought ever to precede the method of composition. This analysis consists in making experiments and observations, and in drawing general conclusions from them by induction, and admitting of no objections against the conclusions but such as are taken from experiments, or other certain truths. For hypotheses are not to be regarded in experimental philosophy. And although the arguing from experiments and observations by induction be no *demonstration* of general conclusions, yet it is the best way of arguing which the nature of things admits of, and may be looked upon as so much the stronger, by how much the induction is more general. And if no exception occur from phenomena, the conclusion may be pronounced generally. But if at any time afterwards any exception shall occur from experiments, it may then begin to be pronounced with such exceptions as occur. By this way of analysis we may proceed from compounds to ingredients, and from motions to the forces producing them; and is general, from effects to their causes, and from particular causes to more general ones, till the argument end in the most general. This is the method of analysis; and the synthesis consists in *assuming* the causes discovered, and established as principles, and by them explaining the phenomena proceeding from them, and proving explanations.” Grifo meu para chamar atenção sobre o problema que se levanta a partir daí, pois Newton está se baseando no sentido aristotélico de *demonstração*, o que sugere que, na análise, não é possível demonstrar fenômenos naturais a partir da indução.

acha problemática a utilização do termo “Filosofia experimental”, pois Newton o retira da Questão 23, composta na edição latina da *Óptica* de 1706, e na segunda edição introduz o termo “Filosofia natural” para mostrar que “Filosofia experimental” é sua variação. A razão disto, segundo Shapiro, não está clara, pois Newton restaura o termo “Filosofia experimental” na segunda edição de 1717, a mais acessível a nós, onde a Questão 23 é substituída pela Questão 31. Por ora, o problema é levantado para mostrar que Newton oscila ao buscar significar sua “Filosofia experimental”, termo também usado no Escólio Geral dos *Principia*, que, por sua vez, foi editado três vezes com alterações importantes.

Veja-se que, na Questão 31, Newton considera o seguinte: “e, embora a argumentação pela indução, a partir das experiências e observações, não seja demonstração de conclusões gerais, ainda assim é o melhor caminho de argumentação [...]”. O Prefácio de Cotes, na segunda edição dos *Principia*, a de 1713, é bastante revelador ao tratar as classes da “Filosofia natural”, dentre elas, a de Aristóteles, que, segundo ele, não oferece o conhecimento da verdadeira Filosofia, pois não revela a natureza particular dos efeitos produzidos pelos corpos (NEWTON, 1974, xx). Esta edição mostra que Cotes conhecia o termo “Filosofia natural”, antes mesmo da modificação da segunda edição da *Óptica*, onde houve a reintrodução do termo “Filosofia experimental”. Seja “Filosofia natural” ou “Filosofia experimental”, é pela indução que se definem as experiências e o significado originário de indução é dado por Aristóteles. A rigor, o argumento indutivo não é demonstrativo, pois parte do particular para o geral, e suas conclusões são generalizações que só podem ser demonstradas no argumento dedutivo:

Ora, se o conhecimento é o que supomos que seja, o conhecimento demonstrativo tem que proceder das premissas que sejam verdadeiras, primárias, imediatas, melhor conhecidas e anteriores à conclusão e que sejam causa desta. Somente sob estas condições os primeiros princípios podem ser corretamente aplicados ao fato a ser demonstrado. O silogismo enquanto tal será possível sem tais condições, mas não é demonstração, pois o resultado não será o conhecimento (ARISTÓTELES, 2005, *An. Post.*, I, 2, 71b1).

Para rebater Leibniz, Newton diz claramente que, em sua Filosofia experimental, não há espaço para hipóteses, pois “proposições particulares são inferidas a partir dos fenômenos, sendo depois generalizados por indução” (NEWTON, 1973, p. 547)²⁸⁴. Considere-se que, na análise Matemática, há um significado técnico na construção de argumentos, na medida em

²⁸⁴ “[...] particular propositions are inferred from the phenomena, and afterwards rendered general by induction.”

que ela opera numa ordem da descoberta. Por um lado, tem-se aqui uma concordância entre o significado lógico da análise e o raciocínio dedutivo de Aristóteles, já que, para este, a análise é um processo demonstrativo; por outro lado, quando a análise vai para o interior da indução, a construção do argumento entra em desacordo com o raciocínio indutivo, sendo que esse tipo de raciocínio não produz conhecimento na interpretação aristotélica. Em sua carta a Cotes, de 28 de março de 1713, a definição de Filosofia experimental é esclarecedora:

A Filosofia experimental argumenta apenas a partir de fenômenos, tira conclusões gerais de acordo com os fenômenos e considera a conclusão como geral quando o acordo é geral, sem exceção, embora a generalidade não possa ser demonstrada *a priori* (NEWTON, 1975, p. 398)²⁸⁵.

Ainda que Newton mostre que a indução corresponda à solução invertida do método de análise em Matemática, na *Óptica* há um problema a se pensar quando se fala em ausência de demonstração na indução. Ao associar a análise Matemática à indução, isso parece funcionar apenas quando a análise é usada como um instrumento de organização de pensamento e experiências. Mas essa associação vai além dessa mera organização: a análise Matemática vai para dentro do método experimental de forma conceitual - no sentido matemático, a análise é um método heurístico, cuja ordem da descoberta pode revelar o princípio que servirá de base para a composição sintética; no sentido experimental, a análise produz inferências de proposições particulares a partir dos fenômenos da natureza. Uma coisa é extrair proposições de uma observação espontânea, outra coisa é, através do método de análise, operar a resolução nos experimentos da indução. A ordem da descoberta pode até organizar as experiências de tal modo que a indução se torne “o melhor caminho de argumentação”, mas dela não se extrai uma proposição verdadeira, só se extrai o aparente. Vale considerar que a análise é um importante instrumento a serviço da Matemática, tal como o é na ciência experimental, de modo que o raciocínio e as experiências possam ser conduzidos, segundo sua ordem. No entanto, a adoção da dedução na experiência pode causar estranheza, já que a dedução é uma operação que deve partir de uma premissa verdadeira para chegar a uma conclusão necessária. Numa interpretação geral do sentido de dedução, Aristóteles atribui à sua estrutura argumentativa a presença fundamental do termo médio e da premissa universal, o que difere sistematicamente da estrutura argumentativa do raciocínio

²⁸⁵ “Experimental philosophy argues only from phaenomena, draws general conclusions from the consent of phaenomena, & looks upon the conclusion as general when ye consent is general without exception, the generality cannot be demonstrated *a priori*.”

indutivo (ABBAGNANO, 2003, p. 233). Sendo assim, a estrutura desse tipo de raciocínio, em Newton, também parece problemática.

Guicciardini observa que a estrutura Matemática da *Óptica* de Newton é também um tanto complexa:

Newton pôde fazer uma comparação entre o método experimental adotado na Filosofia natural e o método de análise dos matemáticos, porque colocou a experimentação dentro de um procedimento matemático dedutivo (causas, ou princípios, não são induzidos, mas deduzidos dos fenômenos) (2009, p. 317)²⁸⁶.

Como pode Newton inserir a experiência na dedução Matemática, que é essencialmente demonstrativa? Considerando que a indução até pode ser o melhor argumento, na medida em que mostra a ordem da descoberta, como pode ele deduzir a partir de constatações aparentes? Ao colocar a indução no interior da análise Matemática, Newton pode nos levar a uma posição pouco clara ao papel da experiência na ciência. Segundo Guicciardini, Newton, ao fazer uma combinação da análise e síntese papiana com a indução aristotélica, o faz apenas “como um movimento retórico que visa defender a certeza de sua Filosofia natural” (*Ibid.*, p. 324). Ainda que essa combinação seja meramente retórica, a interpretação Matemática dos fenômenos naturais está presente na *Óptica*, pois dessa combinação resulta uma justificação problemática via indução.

Primeiramente, trazer McGuire para o interior dessa discussão nos ajudará a perceber as implicações das imprecisões conceituais de Newton sobre o método de análise e síntese. As datas de publicação dos *Principia* e *Óptica* são um ponto de partida que nos ajudará a identificar essas implicações, para além da disputa contra Leibniz e Leibnizianos. A primeira edição dos *Principia* ocorreu em 1686 e, dezoito anos depois, Newton publica a primeira edição da *Óptica*, a de 1704²⁸⁷. Lembre-se que a *Óptica* começou a ser desenvolvida por volta de 1670, na versão das *Lições*, que foram reformuladas para a composição do Livro I da

²⁸⁶ “Newton could draw a comparison between the experimental method adopted in natural philosophy and the method of analysis of the mathematicians because he placed experimentation within a deductive mathematical procedure (causes, or principles, are not induced but deduced from the phenomena).”

²⁸⁷ No decorrer da pesquisa, para a composição do capítulo quinto, ficou clara a necessidade de pesquisar, em especial, as edições de 1686, 1723 e 1726 dos *Principia*, e as edições da *Óptica* de 1704, a latina de 1706, cuja versão em inglês só foi publicada em 1717. Sob a perspectiva de Shapiro e McGuire, percebe-se que Newton oscila na definição de Filosofia natural, na definição do método de análise e síntese nos *Principia*, trazendo consequências significativas sobre o que ele fez na *Óptica* e que leva, à Questão 31, uma definição do método de análise e síntese problemática, em analogia com o método matemático. No entanto, essas edições não puderam ser consultadas, as que chegaram até nós são as últimas, as anteriores, porém, só estão disponíveis em bibliotecas internacionais.

Óptica. De lá até cá, houve inúmeras modificações que intrigaram McGuire e Shapiro, e ambos fizeram uma leitura rigorosa dessas duas importantes obras. Ao traduzir os dois rascunhos de Newton, McGuire dá um importante esclarecimento sobre ambos: um está relacionado ao método, e outro, ao Prefácio pretendido à *Óptica* de 1704. Ele observa que “o ponto geral mais importante que surge desses manuscritos é que Newton não viu nenhuma dicotomia entre o método usado nos *Principia* e o encontrado na *Óptica*” (1970, p. 182)²⁸⁸. Dessa forma, pressupõe-se que, para Newton, a análise Matemática se funde à experimental para que, de tal maneira se justifique a indução, e essa combinação passa a ter origem na polêmica sobre a qual o conceito de Filosofia experimental resulta nas várias edições dos *Principia*.

Na disputa contra Leibniz, essa polêmica se expressa na rejeição do conceito de gravidade de Newton, bem como do método de análise nos *Principia*, segundo o qual os leibnizianos o acusam de não segui-lo ao provar a lei de gravitação universal. Declaradamente ofendido, Newton escreve para o editor de *Memórias de literatura*, em maio de 1712, mostrando do que o acusam:

Eles mostram que existe uma gravidade universal e que todos os fenômenos dos céus são o efeito dela e com a causa da gravidade eles não se intrometem, mas a deixam para ser descoberta por eles, que podem explicá-la mecanicamente ou de outra forma. E isso merece ser explorado com a linguagem de uma coisa sobrenatural, um milagre, uma ficção inventada para apoiar uma opinião infundada e um método de Filosofia, depois do Romance do Sr. Robervals (1975, p. 299)²⁸⁹.

Essa polêmica faz com que Newton reformule os *Principia* para mostrar que, em sua Filosofia experimental, não há espaço para hipótese fictícia, e também para mostrar como se aplica o método de análise e síntese ao provar a lei de gravitação universal, embora reconheça a impossibilidade de provar sua causa. Essa acusação, referente à ausência de método nos *Principia*, também o faz editar a *Óptica*, a fim de mostrar que não inventa hipóteses e para

²⁸⁸ “The most important general point arising out of these manuscripts is that Newton did not see any dichotomy in method between that used in the *Principia* and that found in the *Opticks*.” Esses rascunhos foram escritos entre os anos de 1672 e 1706, e estão disponíveis na plataforma *Cambridge University Library* da Universidade de Cambridge.

²⁸⁹ “They shew that there is an universal gravity & that all the phaenomena of the heavens are the effect of it & with ye cause of gravity they meddle not but leave it to be found out by them that can explain it whether mechanically or otherwise. And doth this deserve to be scouted with the language of a supernatural thing, a miracle, a fiction invented to support an ill grounded opinion, & a method of philosophy after Mr Robervals Romance.”

assegurar a eficiência de seu método, na dedução de fenômenos em sua Filosofia experimental. É desse embate que surge a Questão 23/31.

Para Stewart, “Newton e alguns de seus predecessores fizeram uma falsa analogia entre o uso técnico de análise e síntese da Matemática e seu uso na Filosofia natural” (*Apud in* MCGUIRE, 1970, p. 185)²⁹⁰. Nessa direção, segue o estudo de Shapiro, segundo a qual o método de análise e síntese é problemático, pois o Livro II da *Óptica* apresenta sinais de uma singular ausência de método: “O Livro II ‘não é um método tão bom’, uma rara exibição de ingenuidade e admissão de imperfeição de Newton, por isso não é surpreendente que ele tenha abandonado essa concessão em rascunhos posteriores e nunca os tenha publicado” (2004, p. 193)²⁹¹. Tais rascunhos se referem a publicações que Newton deixou de fazer sobre as Questões 23 e 31, na tentativa de reformular a explicação do método de análise e síntese. A apropriação inadequada do significado matemático de análise e síntese traz consequências significativas à Filosofia experimental, uma vez que esta se revela numa estrutura contrária ao método matemático.

Esta discussão mostra não só a assimetria da analogia entre análise Matemática e indução, mas também faz referência ao problema da ausência de um método, especialmente na *Óptica*, quando se toma como pressuposto as afirmações sobre análise e síntese na Questão 31. Dessa assimetria, também brota a discussão sobre o que se pretende caracterizar na configuração experimental da indução na *Óptica*. Ao pretender dar precisão Matemática à Filosofia experimental, Newton tem a intenção de produzir uma certeza para que o probabilismo indutivista seja evitado, introduzindo experimentos sistematicamente planejados, como vemos no Livro I da *Óptica*. Segundo Guerlac, Newton “insistiu na força de um único experimento bem planejado para responder a uma pergunta específica, em oposição ao procedimento baconiano de coletar e comparar inúmeras ‘instâncias’ de um fenômeno” (1973, p.387)²⁹². As tábuas de presença, ausência e graus são, para Bacon, instâncias sobre as quais a interpretação da natureza somente evolui quando se permite orientar o intelecto pelo

²⁹⁰ “Newton and many of his predecessors make a false analogy between the mathematical use of the techniques of analysis and synthesis, and their use in natural philosophy.” Para Oldroyd (*apud in* CARIU, 2019, p. 89), por exemplo, a identificação da análise à indução e da síntese à dedução favoreceu à interpretação confusa de ambos os termos, sobretudo quando se considera sua perspectiva lógica; segundo ele, essa confusão durou até o século XIX, e ainda assim reitera o significado matemático de análise e síntese como operações essencialmente dedutivas.

²⁹¹ “Book II ‘is not in so good a method,’ a rare display of candor and admission of imperfection by Newton, so it is not surprising that he dropped this concession from later drafts and never published it.” A ausência de método, no Livro II da *Óptica*, é um assunto que será tratado mais adiante.

²⁹² “[...] insisted upon the cogency of a single, well-contrived experiment to answer a specific question, as opposed to the Baconian procedure of collecting and comparing innumerable ‘instances’ of a phenomenon.”

movimento legítimo da indução (1973, pp. 108-133). Ao contrário disto, Newton prefere apostar no *experimentum crucis*, exprimindo seu talento em organizar experimentos que, ao representá-los, na sequência inequívoca dos dezesseis experimentos da Parte 1, Livro I da *Óptica*, mostra a força que o “experimento crucial” adquiriu ao longo de suas explicações sobre as propriedades da luz ²⁹³. Essa força foi o fio condutor da realização dos experimentos realizados em outras circunstâncias, na Parte 2 do Livro I, a fim de provar que tais propriedades podem ser observadas em situações experimentais diferentes.

Pensando na configuração experimental dos Livros I e II, uma investigação sobre o modo como a indução é operada, no interior do método de análise e síntese, deve ser realizada a fim de se fazer compreender o que realmente Newton fez na prática.

a) Análise no Livro I, Parte 1, da *Óptica*:

Newton declara tão somente que, segundo o método de análise e síntese, na Questão 31, a análise começa com a realização de experiências e observações de determinados efeitos produzidos por uma causa, neste caso, dos “movimentos” às “forças”. No entanto, a analogia entre o que se pratica na Matemática e na física óptica seja um ponto de observação problemático, ao fazer uso do mesmo método em ciências puras e em ciências empíricas, embora se expresse de forma controversa, torna-se bastante inventivo em Newton. O método das fluxões, por exemplo, foi desenvolvido em Matemática pura, entretanto, os conceitos nele utilizados, a saber, tempo, espaço e velocidade, são conceitos estabelecidos também na experiência sensível e perfeitamente aplicáveis na Matemática, mas de forma absoluta, não relativa.

A Parte 1 do Livro I da *Óptica* se inicia com um conjunto de 8 definições e 8 axiomas para então seguir com a denominada “demonstração por experiências”, o que, segundo Cohen (2002, p. 166), tem uma aparência formal da aplicação da síntese. Isso se confronta com o que Newton (1993, p. 543) afirma na Questão 31, pois nela há uma clara menção de que ele procedeu com essa análise nos Livros I e II da *Óptica*. Entretanto, é na Parte 1 do Livro I que ela é realizada, e o leitor atento irá perceber que sua aparência sintética serve para conduzir por ordem seu pensamento. Pois, mesmo que Newton dê preferência à construção sintética, e

²⁹³ Segundo Martins & Silva (1996, p.318), Hooke era um empirista baconiano e, na leitura da *Micrografia*, Newton teve contato com a expressão *instatae crucis*, mas fez uso incorreto da expressão, transformando-a em *experimentum crucis*.

isto influencia bastante seu estilo de escrever, o conjunto de definições e axiomas contidas no início da Parte 1 do Livro I serve antes para explicar o que até então se discutia em Óptica:

Dei agora nos Axiomas e suas explicações a soma do que até hoje foi tratado em Óptica. Pelo que foi geralmente aceito, eu me contento em *admitir* sob a noção de Princípios para o que tenho ainda a escrever. E isso pode bastar para uma Introdução aos leitores de raciocínio ágil e bom entendimento ainda não versados em Óptica; mas os que já estão familiarizados com essa ciência e tenham manejado lentes aprenderão mais prontamente o que segue (*Ibid.*, p. 386; grifo meu)²⁹⁴.

Esta afirmação é feita logo após a exposição de 8 definições e 8 axiomas para depois iniciar a demonstração por experiências, tornando inevitável que a análise propriamente dita realize seus procedimentos. A “demonstração por experiência” é apresentada sob um conjunto de 8 proposições, 6 teoremas e 1 problema, seguidas de um conjunto de 16 experiências, que se chama de análise, por assim dizer. Apesar da aparência sintética inicial, o conjunto dessas proposições e teoremas são necessárias para a “demonstração” da ação visível da luz no meio transparente.

Nessa parte da *Óptica*, ocasião da análise da descoberta, Newton realiza as experiências 13 e 14 para mostrar que a luz homogênea é uma composição de raios coloridos e refratáveis diferentemente, mas que tiveram a mesma incidência no mesmo meio refrator. Tais experiências visam demonstrar a Proposição 5, na qual se afirma que “*a luz homogênea é refratada regularmente sem nenhuma dilatação, divisão ou despedaçamento dos raios, e a visão confusa dos objetos vistos através de corpos refratores, por luz heterogênea, decorre da diferente refrangibilidade de várias espécies de raios*” (NEWTON, 1993, p. 408; grifo do autor)²⁹⁵.

Ocorre que, nas respectivas experiências, há a mesma declaração: “o que *prova* toda a proposição” (*Ibid.*, p. 409; grifo meu)²⁹⁶. A partir desses experimentos, pode-se dizer que o uso de demonstração parece aqui inadequado, pois este conceito entra em conflito com a

²⁹⁴ “I have now given in Axioms and their explications the sum of what hath hitherto been treated of in Optics. For what hath been generally agreed on I content myself to *assume* under the notion of Principles, in order to what I have further to write. And this may suffice for an Introduction to readers of quick wit and good understanding not yet versed in Optics: although those who are already acquainted with this science, and have handled glasses, will more readily apprehend what followed”. Grifo meu para mostrar que definições e axiomas terão aparência formal da composição sintética.

²⁹⁵ “*Homogeneous light is refracted regularly without any dilatation or shattering of the rays, and the confused vision of objects seen through bodies by heterogeneous light arises from the different refrangibility of several sorts of rays*”.

²⁹⁶ “Which *proves* the whole Proposition.”

própria natureza das proposições indutivas. Parece mais adequado tratar de “demonstração” todo processo de raciocínio que inicia por princípio. A concepção de luz homogênea, longe de ser evidência, será retomada na Parte 2 do Livro I da *Óptica*, a fim de se demonstrar sua composição de raios coloridos, sendo submetida a outras circunstâncias experimentais para as quais se tentará confirmar a utilidade dessa descoberta.

Desse modo, a “demonstração por experiência” exige validação sintética, pois precisa partir de princípios previamente estabelecidos. Com isso, a “prova” por experiência pode ser executada, pois a utilidade da análise é exigida: “[...] Em suma, se Newton deu uma forma sintética a seus *Principia*, se coloca a Geometria dos Antigos acima da análise dos Modernos, é porque a análise que se liga apenas aos dados observáveis prova a necessidade evidente de demonstrar sua utilidade concreta em vista dos fenômenos” (TIMMERMANS, 1995, p. 205)²⁹⁷. Ademais, as circunstâncias experimentais da análise se desproblematizam quando se ligam à síntese de forma indissociável, na medida em que, considerando a Questão 31, “[...] a síntese consiste em admitir as causas descobertas e estabelecidas como princípios, em explicar por elas os fenômenos que delas procedem e em provar as explicações” (1993, p. 543)²⁹⁸. Cabe aqui à análise explicar em quais circunstâncias experimentais os fenômenos luminosos aparecem, produzem seus efeitos e estão circunscritos na “demonstração por experiências”, melhor dizendo, no argumento indutivo, para assim mostrar qual é a sua utilidade, na sua relação de dependência com a síntese.

b) Síntese no Livro I, Parte 2, da *Óptica*:

Segundo a análise acima, é na composição que Newton submete a descoberta analítica às outras circunstâncias experimentais em que o fenômeno luminoso foi submetido na “demonstração por experiências”. Na proposição 5, experiência 10, da Parte 2 do Livro I, Newton submete a luz homogênea a uma circunstância experimental distinta da que submeteu na Proposição 5, experiências 12, 13 e 14, da Parte 1 do Livro I. Na experiência 14, por exemplo, Newton nos mostra que se colocarmos objetos muito pequenos, vistos por um prisma, na luz homogênea, tais objetos são vistos com clareza e nitidez; mas se colocarmos os mesmos objetos diante da luz heterogênea, branca e não refratada, as partes desses objetos não podem ser distinguidas. Disto decorre que, no primeiro caso, os objetos são vistos com

²⁹⁷ “ En somme, si Newton a donné une forme synthétique à ses *Principia*, s’il place la géométrie des Anciens au-dessus de l’analyse des Modernes, c’est parce que l’analyse, qui ne s’attache plus qu’aux données observables, éprouve le besoin criant de démontrer son utilité concrète au regard des phénomènes.”

²⁹⁸ Veja nota 283, citação direta da Questão 31.

clareza porque a luz homogênea é uma composição de raios coloridos, embora estas qualidades não sejam vistas porque, neste caso, a luz não sofre mudança por sua distância com os objetos pequenos; no segundo caso, a luz heterogênea e branca, nos impede de ver com clareza os objetos pequenos porque essa luz não sofreu desvios refrangíveis. Newton insiste na conclusão de que a luz branca é uma composição de raios coloridos, mesmo sendo rebatido por Huygens, em resposta à sua “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de 1672. Numa correspondência de 21 de julho de 1673, Huygens entra nesse debate para mostrar que é possível, segundo sua orientação, isolar o amarelo e o azul para produzir o branco:

Quanto à composição do *Branco*, feita por todas as Cores em conjunto, pode ser que o *Amarelo* e o *Azul* possam ser suficientes para isso: o que vale a pena tentar; e pode ser feito pelo Experimento que o Sr. Newton propõe, para receber novamente, contra uma parede de um quarto escuro, as Cores do Prisma, convertendo sua luz refletida em papel branco. Aqui você deve impedir as Cores das extremidades, *a saber*, o Vermelho e o Roxo, de bater na parede, e deixar apenas as Cores intermediárias, amarelo, verde e azul, para ver se a luz destas sozinhas não faria o papel aparecem brancos, assim como quando todos iluminam (NEWTON, 1958, p.136; grifo do autor)²⁹⁹.

Já na experiência 10 da Parte 2 do Livro I, Newton faz a luz branca atravessar um orifício para interceptá-la num prisma, que refrata seus raios na superfície de um pente, e as cores que emergem através do pente atravessam uma lente côncava e convexa, mas, em suas extremidades, emergem as luzes vermelha e violeta; e se, a certa distância, for colocado um papel branco, que seja afastado da lente, essas cores se aproximarão até se diluírem num determinado foco, compondo uma mistura que atinge a brancura.

As circunstâncias, em ambos os casos, são distintas e Newton acredita que a “prova por experiência” da luz homogênea é dada na Parte 2 do Livro I: “E que nesta composição do branco, os vários raios não sofrem nenhuma mudança em suas qualidades coloríficas ao agir uns sobre os outros, mas apenas se misturam, e pela mistura de suas cores produzem o branco, torna-se também evidente por estes argumentos” (NEWTON, 1993, p. 433)³⁰⁰. De maneira

²⁹⁹ “As for the composition of *White* made by all the Colors together, it may possibly be, that *Yellow* and *Blew* might also be sufficient for that: Which is worthwhile to try; and it may be done by the Experiment, which Mr. Newton proposeth, by receiving against a wall of a darkn’d room the Colours of the Prisme, and to cast their reflected light upon white paper. Here you must hinder the Colors of the extremities, *viz*, the Red and Purple, from striking against the wall, and leave only the intermediate Colors, yellow, green and blew, to see, whether the light of these alone would not make the paper appear white, as well as when they all give light.”

³⁰⁰ “And that in this composition of white the several rays do not suffer any change in their colorific qualities by acting upon one another, but are only mixed, and by a mixture of their colors produce white, may further appear by these arguments.”

semelhante, Newton acredita provar a imutabilidade da cor e da heterogeneidade dos raios coloridos, usando as circunstâncias analíticas do *experimentum crucis*, que vai da Experiência 6, conforme figura 1, à Experiência 10, da Parte 1, Livro I, com sua utilidade validada na experiência 4 da Parte 2 desta obra.

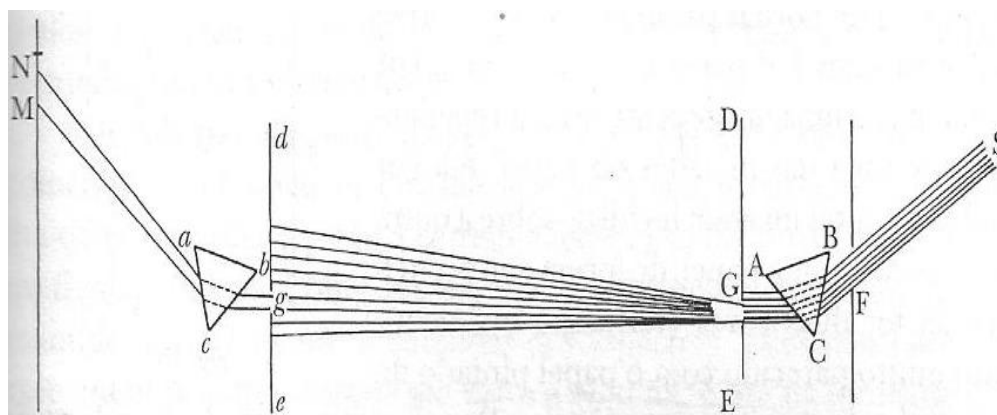


Figura 19 (*Ibid.*, 1993, p. 397)

Na figura acima, por meio da análise, se explica o comportamento do raio que emerge de S e atravessa o orifício F, para assim atravessar o primeiro prisma ABC, que refrata parte de seus raios no orifício G da tábua DE; os raios coloridos que emergem deste orifício serão selecionados no orifício g da tábua, para atravessar o segundo prisma abc, mas não sofrerão qualquer mudança ao emergirem em NM. Já a Experiência 4 da Parte 2 do Livro I, onde a síntese busca validar o que encontrou na experiência acima, inicia-se com a comparação às bolhas de sabão, embora suas cores mudem de situação em um meio que permaneça imóvel e a luz colorida independa da modificação da luz branca, que é homogênea; da mesma maneira, também parte de um dos experimentos do *experimentum crucis* para provar a heterogeneidade dos raios luminosos, cuja luz produzida, após atravessar dois prismas de superfície paralela, dentro de um ambiente escuro, irá produzir uma cor uniforme (amarela ou vermelha) ao sair do prisma, e nela irá se constatar que a luz do sol é uma mistura de raios heterogêneos; e se a luz emergente atravessar outro prisma, compondo as cores vermelha, amarela, verde, azul e violeta, cores que emergem da refração do prisma, é possível constatar que, se girarmos os dois primeiros prismas em torno do mesmo eixo, as cores irão desaparecer, com exceção do vermelho, justamente porque desta circunstância material se conclui a heterogeneidade da luz colorida, já que nenhuma cor pode ser modificada por refração ou reflexão. Essa é uma tese já defendida nas *Lições*: “Por outro lado, a Aula 3 na Parte II da *Óptica*, sobre a imutabilidade da cor, representa um avanço conceitual além das Lições, muito provavelmente não foi

apresentada em suas palestras anteriores” (*Apud in SHAPIRO, 1984, p.20*)³⁰¹. Há, portanto, um importante avanço conceitual sobre a imutabilidade da cor.

Até aqui se trata de provar que a imutabilidade da cor decorre da heterogeneidade dos raios coloridos. Nesse sentido, a lei de refração pode ser aqui aplicada para medir a refração desigual dos raios coloridos e provar a aparição da cor. Numa carta dirigida a Oldenburg, em 6 de abril de 1673, há uma importante revelação:

Nunca tive a intenção de mostrar em que consiste a natureza das diferentes de cores, mas apenas mostrar que são qualidades originais e imutáveis dos raios que os exibem, e deixar para outros explicarem por Hipóteses Mecânicas a natureza e diferença daquelas qualidades; o que considero não ser um assunto muito difícil. Mas eu não seria entendido, pois suas diferenças consistem na diferente refrangibilidade desses raios (NEWTON, 1959, p. 264)³⁰².

Portanto, o que fica provado é a imutabilidade da cor pelo grau de refrangibiliade, não a sua causa. Como estabelecer, pois, a distinção entre “demonstração” e “prova”? Não há como fazer distinção dessa operação no método de análise e síntese, pelo menos na forma como estão definidas no interior da indução. Do ponto de vista da análise Matemática, a demonstração, em sua estrutura argumentativa é dedutiva. O mesmo não procede quando se trata de uma argumentação indutiva. Num determinado momento, a necessidade de adequar a análise à “demonstração” parece bem mais um apelo circunstancial, quando surge o debate sobre o método que dá origem à Questão 31. As circunstâncias experimentais que “provam” a composição do branco, no *experimentum crucis*, são apenas argumentos construídos para quiçá ser validado na composição sintética. O que realmente é provado na síntese é a heterogeneidade dos raios coloridos; a composição do branco é, em sua estrutura argumentativa, uma constatação experimental em que se busca dar validação sintética. Entretanto, Huygens também mostra, na experiência, que sua composição pode acontecer apenas com os espectros amarelo e azul. O que nos parece relevante, para o momento, é mostrar que, no Livro I, a análise se revela como um método capaz de mostrar não só suas circunstâncias, mas também sua utilidade indissociável da síntese. Por conseguinte, a síntese assume a função de “provar”, em outras circunstâncias experimentais, que as causas

³⁰¹“On the other hand Lecture 3 in Part II of de *Optica*, on the immutability of color, represents a conceptual advance beyond the Lectiones and most likely was not presented in his earlier lectures”.

³⁰² “I never intended to show wherein consists the nature and difference of colours, but only to show that & they are originall & immutable qualities of the rays wch exhibit them, & to leave it to others to explicate by Mechanicall Hypotheses the nature & difference of those qualities; wch I take to be no very difficult matter. But I would not be understood as if their difference consisted in the different refrangibility of those rays.”

descobertas na análise só são admitidas como princípios se progredirem com outros experimentos, produzindo argumentos que se tornam evidentes se a síntese puder validá-los. Se a análise exige validação sintética é porque sozinha não prova nada; ao contrário da síntese, que é capaz de progredir sozinha, embora a Filosofia natural exija experimentos para assim consumir sua prática científica.

c) O método de análise no Livro II da *Óptica*

Ao final da Questão 31, há uma breve exposição sobre o que Newton diz praticar em cada livro da *Óptica*, transmitindo a ideia de que o método de análise representa a essência de sua investigação sobre as propriedades da luz:

Nos dois primeiros livros dessa *Óptica*, procedi com essa análise para descobrir e provar as diferenças originais dos raios de luz em relação à refrangibilidade, à reflexibilidade e à cor, e seus estados alternados de fácil reflexão e fácil transmissão, e as propriedades de corpos opacos e transparentes, dos quais dependem suas reflexões e cores. E essas descobertas, sendo provadas, podem ser assumidas no método de *composição* para explicar os fenômenos que delas decorrem, um exemplo desse método que apresentei no final do *primeiro livro*. Neste terceiro livro, apenas comecei a análise do que resta a ser descoberto sobre a luz e seus efeitos sobre a estrutura da Natureza, sugerindo várias coisas sobre ela, e deixando as dicas para serem examinadas e aprimoradas ao avançar os experimentos e observações tais como desejam saber (NEWTON, 1993, p.543; grifo meu para enfatizar a relação da composição com a Parte 2, do Livro I)³⁰³.

Quando Shapiro diz que o Livro II exhibe a ingenuidade de Newton, especialmente quando ele diz praticar o método de análise, pretende mostrar que lá, na sequência de observações, não há clareza o bastante que possa assegurar o que ele diz fazer (Cf. 2004, p. 193). Seu esforço em executar o método de análise e síntese está presente no Livro I, enquanto, no Livro II, há uma sequência de descrições de observações sobre reflexões e refrações nos anéis produzidos nas lâminas de vidro, sem que com elas se possa esclarecer o que de fato foi feito ali. Segundo o excerto acima, parece que, no Livro II, Newton praticou somente o método de análise, porém, ao examinar a estrutura das observações, percebe-se

³⁰³ “In the two first books of these Optics, I proceeded by this analysis to discover and prove the original differences of the rays of light in respect of refrangibility, reflexivity, and colour, and their alternate fits of easy reflexion and easy transmission, and the properties of bodies, both opaque and pellucid, on which their reflexions and colours depend. And these discoveries, being proved, may be assumed in the method of *composition* for explaining the phenomena arising from them, an instance of which method I gave in the end of the first book. In this third book I have only begun the analysis of what remains to be discovered about light and its effects upon the frame of Nature, hinting several things about it, and leaving the hints to be examined and improved by the further experiments and observations of such as are inquisitive.”

uma diferença bastante significativa, em relação à análise praticada no Livro I. Apesar disso, é inconteste que, na Parte 1 do Livro II, há o exemplo bem-sucedido, o da Observação 7. Lá, há uma determinação quantitativa bastante detalhada sobre a espessura de ar entre os anéis:

E a partir dessas medidas pareço extrair esta regra: que a espessura do ar é proporcional à secante de um ângulo, cujo seno é uma certa média proporcional entre os senos de incidência e de refração. E essa média proporcional, na medida em que posso determiná-la por essas medidas, é a primeira de cento e seis médias aritméticas proporcionais entre os senos contados a partir do seno maior; isto é, do seno de refração, quando a refração é feita do vidro para a lâmina de ar, ou do seno de incidência, quando a refração é feita da lâmina de ar para o vidro (NEWTON, 1993, p. 462)³⁰⁴.

Segue a tabela das proporções:

Angle of incidence on the air		Angle of refraction into the air		Diameter of the ring	Thickness of the air
Deg.	Min.				
00	00	00	00	10	10
06	26	10	00	$10\frac{1}{13}$	$10\frac{2}{13}$
12	45	20	00	$10\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$
18	49	30	00	$10\frac{3}{4}$	$11\frac{1}{2}$
24	30	40	00	$11\frac{2}{5}$	13
29	37	50	00	$12\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$
33	58	60	00	14	20
35	47	65	00	$15\frac{1}{4}$	$23\frac{1}{4}$
37	19	70	00	$16\frac{4}{5}$	$28\frac{1}{4}$
38	33	75	00	$19\frac{1}{4}$	37
39	27	80	00	$22\frac{6}{7}$	$52\frac{1}{4}$
40	00	85	00	29	$84\frac{1}{12}$
40	11	90	00	35	$122\frac{1}{2}$

Tabela 3 (*Ibid.*, p.462)

Para chegar a essas medidas, Newton mede o diâmetro dos anéis, mostrando que a diferença de espessura de ar de cada anel varia, de acordo com a obliquidade do olhar observador. Essa é uma importante descoberta e que teve sua origem na teoria dos pulsos de Hooke, que define, em sua *Micrografia*, a constituição da luz como uma frente de ondas ao entrar em choque com o meio refringente (MARTINS, 2015, p. 13). Apesar dessa conquista, o problema de situar a análise e síntese, no Livro II, fica expresso em seus rascunhos, segundo

³⁰⁴ “And from these measures I seem to gather this rule: that the thickness of the air is proportional to the secant of an angle, whose sine is a certain mean proportional between the sines of incidence and refraction. And that mean proportional, so far as by these measures I can determine it, is the first of a hundred and six arithmetical mean proportional between those sines counted from the bigger sine; that is, from the sine of refraction when the refraction is made out of the glass into the plate of air, or from the sine of incidence when the refraction is made out of the plate of air into the glass (1993, p. 462)”.

os quais os esforços de Shapiro se voltarão para desvendar o que Newton realmente pratica³⁰⁵. Observe que Newton diz, no excerto acima, que procedeu com a análise nos dois primeiros livros da *Óptica*, mas não revela se, no Livro II, ele procede com a síntese, ficando ela destinada, segundo esse enunciado, à Parte 2 do Livro I. Ao fazer os estudos desses rascunhos, Shapiro nos mostra a indecisão de Newton em definir em quais partes do Livro II ele procede com análise e síntese: “A dificuldade de Newton em tentar encaixar sua teoria dos corpos coloridos em seu esquema metodológico de análise e síntese mostra o problema geral das afirmações metodológicas: elas podem não se adequar a todos os casos” (2004, p. 194)³⁰⁶. A configuração experimental, portanto, não tem seu papel definido claramente no interior da análise e síntese, já que, na prática, Newton parece distanciá-la com sua indecisão.

É importante notar que, na Parte 1 do Livro II, Newton não mais realiza “provas por experiência”, tal como as produziu nas Partes 1 e 2 do Livro I: “Ela contém algumas observações fundamentais, tal como as cores nos anéis de Newton que se repetem, de acordo com múltiplos inteiros da espessura da lâmina, mas não há proposições, como há no primeiro livro da *Óptica* ou dos *Principia*” (*Ibid.*, 194)³⁰⁷. Nela, há uma “descrição” da sequência das vinte e quatro observações realizadas, há também o que ele denomina por “verificação”, na experiência de certas configurações da aparição dos anéis. Embora, na Observação 7, ele apresente medidas muito precisas da espessura de ar dos anéis, há um sintoma, em princípio aparente, de um descompromisso real com o método de análise e síntese, pois, descrição e verificação são conceitos mais apropriados à indução e seus papéis não estão claros no interior da configuração da análise e síntese. Na Parte 1 do Livro I, a indução aparece no interior das “demonstrações por experiência” das proposições, ao passo que, na Parte 1 do Livro II, a indução aparece no interior de suas descrições e verificações sem que com elas se façam a “verdadeira composição”. E se não há a verdadeira composição, ao menos a análise que ele diz ter está presente numa estrutura diferente daquilo que já foi abordado sobre o

³⁰⁵ Esses rascunhos já foram citados por McGuire mais acima. Eles, estão depositados na biblioteca virtual da Universidade de Cambridge. Porém, seu acesso se restringe apenas a visualização de suas imagens, sem que se possa imprimi-los ou copiá-los.

³⁰⁶ “Newton's difficulty in trying to fit his theory of colored bodies into his methodological scheme of analysis and synthesis shows the problem of general methodological statement: They may not fit all cases.” Nos rascunhos de 1672 a 1706 estão expressos a oscilação de Newton ao tentar definir o lugar da análise e síntese no Livro II da *Óptica*.

³⁰⁷ “It contains some fundamental observations, such as that the colors in Newton's rings repeat according to integral multiples of the thickness of the air gap, but there are no propositions at all, as there are in the first book of the *Opticks* or the *Principia*.” Os rascunhos das versões das Questões de *Óptica* foram escritos entre os anos de 1672 e 1706, sendo este o ano da segunda edição na versão em latim; estão depositados

Livro I, ao passo que, no Livro II, se realizam observações das lâminas de vidro numa configuração experimental distinta.

Ao comentar, na Parte 2 do Livro II, sobre o que é feito na Parte 1, Newton exprime claramente que “pelo mesmo método se pode examinar a verdade das explicações das demais Observações” (1993, p. 477)³⁰⁸. Conforme seu enunciado na Questão 31, aqui parece ser praticado o método de análise, pois a verificação da espessura de ar entre os anéis surge como uma constatação no interior da indução. Shapiro, por sua vez, revela que, em um de seus rascunhos sobre o Livro II, Newton “explica o significado dos vários fenômenos por meio de conclusões tiradas das observações (a síntese)” (2004, p.194)³⁰⁹.

Na edição de 1717, Newton torna expressa, na Parte 2 do Livro II, a analogia entre as cordas musicais e a largura das cores em cada anel, ao chegar à conclusão de que a branca resulta da mistura de todas as cores (1993, p.471). O branco, no entanto, é uma constatação problemática, pois Newton será questionado sobre essa conclusão, na ocasião da publicação de sua “Nova teoria sobre luz e cores”, de 1672, e será constatado que o branco pode ser constituído por apenas duas cores, o amarelo e o azul, conforme objeção de Huygens; passados quarenta e cinco anos, a ideia de composição do branco permanece na edição de 1717 da *Óptica* (MARTINS, *apud in* NEWTON, 1996, p. 322)³¹⁰, introduzindo uma distinção problemática entre a luz branca e a luz solar. Essa analogia, porém, mostra que, nas *Lições*, ela serve também para exprimir a lei da dispersão, que é omitida essa edição da *Óptica*. Segundo Shapiro, há uma condição interna, na divisão geométrica das cores, que entra em harmonia com a divisão musical quando se mede a largura das cores: “Finalmente, explica que a divisão musical pode servir, aproximadamente, como uma lei de dispersão parcial; isto é, em todas as substâncias, as dispersões, *dn*, das sete cores, apresentam a mesma proporção entre si, assim como a divisão do espectro” (*Apud in* NEWTON, 1984, p. 34-35)³¹¹. Essa lei é

³⁰⁸ “[...] by the same method the truth of the explications of other Observations may be examined.”

³⁰⁹ “[...] he explains the various phenomena by means of conclusions drawn from the observations (the synthesis).”

³¹⁰ Martins faz a tradução comentada da “Nova teoria sobre luz e cores”, mostrando que este foi o primeiro artigo de Newton, publicado nas *Philosophical transactions of the Royal Society*, em 1672, escrito com o objetivo de apresentar a hipótese da composição do branco por raios de todas as cores. Nele, Martins tece comentários sobre os quais se interroga a capacidade de se chegar a essa conclusão apenas com experimento simples, na formação do espectro colorido. Em especial, Huygens irá contestar essa conclusão ao considerar que o branco pode ser composto pelos espectros amarelo e azul. Nesse ano, as *Lições de Óptica* ainda estavam em composição, e nelas estão presentes seus estudos e investigações sobre o fenômeno luminoso

³¹¹ “Finally, he explains that the musical division can serve, at last approximately, as a partial dispersion law; that is, in all substances the dispersions, *dn*, of the seven colors have the same proportion to one another as the division of the spectrum.”

omitida, provavelmente, porque a formulação de seus cálculos provavelmente não corresponde à estrutura argumentativa das observações. A exemplo disso, a síntese, como demonstração verdadeiramente científica, desaparece da estrutura do Livro II da *Óptica*.

Na Parte 3 do Livro II (NEWTON, 1993, pp. 478-495), um conjunto de vinte proposições aparecem, sem que antes precedam definições e axiomas, se nos é permitido comparar essa estrutura com a configuração experimental da Parte 1 do Livro I; nela, Newton faz uma exposição sobre a natureza das cores dos corpos, mas, em seus rascunhos, considera que: “A demonstração é um argumento dedutivo com evidências experimentais e observacionais, e, ao chegar a uma causa das cores dos corpos, é uma análise” (*Apud in SHAPIRO, 2004, p. 194*)³¹². Mais uma vez uma explicação truncada que não satisfaz Shapiro, ao observar ausência de método torna a explicação de Newton pouco clara.

Na Parte 4 do mesmo Livro (NEWTON, 1993, pp. 496-506), surge uma sequência de treze observações motivadas pela aparição de um grande cometa, onde Newton faz ajustes das observações, a partir das verificações das cores dos anéis em lâminas finas. Shapiro observa que, no rascunho, Newton a associa à síntese ao realizar o exame na formação das cores desses anéis: “Em sua dependência sobre a causa das cores em placas finas, ainda é uma síntese. O próprio Newton teve problemas para decidir se as cores dos corpos naturais são uma análise ou uma síntese” (2004, p. 194)³¹³. Sugere-se que, nessa Parte, Newton realiza observações, operando o método sintético, para verificar e constatar em que condição a refração e reflexão dos raios formam os anéis. Mas essa sugestão tem origem em um de seus rascunhos, mas, na edição de 1717, Newton não se arrisca em dizer que seja síntese e a omite na Questão 31. Daí, o problema de determinar, em especial, o lugar da síntese. Sem ela, não há demonstração verdadeiramente científica, não há como cumprir sua aplicação prática se não validar a utilidade da análise.

O Livro III, entretanto, é uma formulação especulativa a respeito do que é possível descobrir sobre a estrutura e a natureza da luz. Ao que parece, Newton quer nos mostrar que uma construção definitiva da teoria da luz ainda não foi realizada e que as 31 Questões formuladas ao final podem fazer abertura de um caminho para o qual outras coisas possam ser

³¹² “The demonstration is a deductive argument with experimental and observational evidence, and in arriving at a cause of the colors of bodies it is an analysis.”

³¹³ “Yet in its dependence on the cause of the colors in thin plates it is a synthesis. Newton himself had problems deciding whether the colors of natural bodies are an analysis or a synthesis.”

descobertas. São questões em aberto, deixando em aberto, inclusive, o significado do método de análise e síntese.

6.3) Experiência e Matemática na *Óptica*

Apesar de defender a elegância da síntese, Newton segue com o método de análise em seus *Principia* e, a partir do modelo euclidiano, introduz a síntese na solução de problemas em Filosofia natural. A querela com Leibniz o faz inserir o método de análise a fim de mostrar que em sua teoria não há hipóteses fictícias, como assim o acusam. Shapiro (2004, p. 191) observa que:

A análise moderna esteve intimamente envolvida na disputa com Leibniz, porque os leibnizianos acusaram Newton de não ter escrito os *Principia* de forma analítica, mas sim sintética, porque ele não dominava o cálculo analítico antes de Leibniz. Newton teve que se engajar em um monte de trabalho extravagante para contornar seu uso de análise (ou falta dele) nos *Principia*, enquanto afirmava que havia descoberto há muitos anos³¹⁴.

Como se trata de uma obra que estabelece princípios matemáticos para investigar fenômenos da natureza, espera-se que tais princípios possam oferecer medidas quantitativas capazes de se adequar à prática experimental. Além disto, nos *Principia*, Newton também estabelece Regras de Raciocínio em Filosofia, que podem ser utilizadas nas ciências naturais, principalmente quando certos fenômenos naturais são invisíveis ou inexprimíveis experimentalmente.

Segundo Shapiro (2002, p. 243-4), Newton realizou uma teoria Matemática da cor nas *Lições*, especialmente quando formulou a lei da dispersão quadrática, na qual acreditava ser possível calcular o índice de refração dos raios de todas as cores; mas esse projeto teórico não chegou a ser testado, pois foi presumido que o valor de um único índice poderia ser aplicado em todas as refrações. Sendo assim, ao desenvolver a *Óptica*, Newton omitiu boa parte dos resultados quantitativos das *Lições*. Entretanto, Newton busca maturidade filosófica ao longo das três edições da *Óptica* e das quatro edições dos *Principia*. Os cálculos das *Lições* que foram omitidos, devem, em grande medida, ao problema de adequação dos *Principia* aos

³¹⁴ “Modern analysis was intimately involved in the dispute with Leibniz, because the Leibnizians accused Newton of not having written the *Principia* in analytic form, but rather synthetic, because he did not command analytic calculus before Leibniz. Newton had to engage in a lot of fancy footwork to get around his use (or lack of use) of analysis in the *Principia*, while claiming that he had discovered it many year.”

experimentos. Embora haja omissões na *Óptica*, observa-se que há aplicação dos *Principia* quando Newton faz uso da lei de refração ao apresentar a precisão de seus cálculos, como é o caso da Experiência 7, no Livro I da Parte 2. Lá se determina o grau de refração para vários tipos de raios homogêneos e suas cores correspondentes. Ao tratar da força como princípio dinâmico da propagação da luz, a Questão 29 elucida sua relação na aplicação dos princípios da Filosofia:

[...] As substâncias transparentes agem sobre os raios de luz à distância, refratando-os, refletindo-os e inflectindo-os, e os raios agitam reciprocamente partes dessas substâncias à distância para aquecê-las; e essa ação e reação à distância se assemelham muito a uma força atrativa entre corpos. Se a refração for efetuada pela atração dos raios, os senos de incidência deverão estar para os senos de refração em uma dada proporção, como mostramos em nossos princípios de Filosofia (NEWTON, 1993, p. 529)³¹⁵.

No entanto, nesta interpretação dinâmica da força do raio luminoso, Newton não nos oferece um cálculo que possa demonstrá-lo, apesar de sugerir que, a partir dos *Principia*, dada proporção dessa força ela pode ser calculada. É o que se observa na Experiência 15, da Parte 1 do Livro I da *Óptica*, onde temos a observação dos espectros oblongos, produzidos pela refração da luz no prisma, onde Newton utiliza o raciocínio matemático, mas não oferece o cálculo preciso referente a isso. Newton concebe a seguinte suposição: “*Que os corpos refratam a luz ao agir sobre seus raios em linhas perpendiculares às suas superfícies*” (*Ibid.*, p. 410-11; grifo do autor)³¹⁶. Essas linhas perpendiculares representam a ação da força presente na superfície refratora, e a luz, que se agita num movimento corpuscular por força centrípeta, é atraída para as partes dessa superfície.

O raciocínio matemático deve caminhar rumo às demonstrações geométricas, pois os argumentos indutivos, mesmo sendo organizados no método de análise, não se confundem com análise Matemática, ainda que Newton assim os denomine por “demonstrações por experiência”, pois os cálculos matemáticos têm formulações que nem sempre se adequam à indução. Talvez por isso Newton tenha feito omissão de certos cálculos formulados nas *Lições* ao compor a *Óptica*:

³¹⁵ “Pellucid substances act upon the rays of light at a distance in refracting, reflecting, and inflecting them, and the rays mutually agitate the parts of those substances at a distance for heating them; and this action and reaction at a distance very much resembles an attractive force between bodies. If refraction be performed by attraction of the rays, the sines of incidence must be to the sines of refraction in a given proportion, as we shewed in our principles of philosophy.”

³¹⁶ “*That bodies refract light by acting upon its rays in lines perpendicular to their surfaces.*”

O editor da edição em Latim, da mesma forma enfatizou o significado das demonstrações geométricas na Parte I, porque na *Óptica* Newton "parece ter sido tão cuidadoso quanto possível para não misturar demonstrações geométricas com argumentos filosóficos, e onde foi necessário estabelecer proposições matemáticas, suas demonstrações quase nunca ocorrem (SHAPIRO *Apud in* NEWTON, 1984, p. 23)³¹⁷.

Ao retornar para o Axioma V da *Óptica*, vê-se que a lei de refração, representada pela Figura 20 a seguir, é fundamental para a aplicação do movimento em termos de força, pois essa lei, encontrada da *Dióptrica* de Descartes, já previa a aplicação do movimento em termos de rapidez (velocidade não é um conceito atribuído a ele), o que serviu de base para a interpretação de Newton. Segundo Sabra:

O fenômeno da refração lhe indica a existência de uma força perpendicular agindo sobre a superfície refratora. A partir da força como suposição, ele deduz a lei do seno, cuja ‘verdade plena’ é assim estabelecida. Isso finaliza, no que diz respeito à refração, o duplo processo de ‘análise’ e ‘síntese’ do qual Newton fala na *Óptica* como o próprio método de investigar fenômeno natural. Mas para determinar *a priori*, e sem evidência suficiente de experimentos, o que é a natureza da força – isso seria uma hipótese (1981, p. 309)³¹⁸.

Na Figura 20 abaixo, Newton aplica a suposição de uma ação da força em linha perpendicular, através dos senos de incidência MC e AD, para os quais NG e EF são os senos de refração. Com isso, acredita alcançar a força do plano refrator quando coloca os senos de incidência e de refração em relação às linhas perpendiculares MC/NG/CG e AD/EF/CF.

³¹⁷ “The editor of the Latin edition likewise emphasized the significance of the geometrical demonstrations in Part I, because in the *Opticks* Newton ‘seems to have been as careful as possible not to mix geometrical demonstrations with philosophical arguments, and where it was necessary to set forth a mathematical propositions, its demonstrations scarcely ever occurs’”.

³¹⁸ “The phenomenon of refraction indicates to him the existence of a perpendicular force acting at the refracting surface. From the force as assumption he deduces the sine law whose ‘full truth’ is thereby established. This ends, as far as refraction is concerned, the double process of ‘analysis’ and ‘synthesis’ of which Newton speaks in the *Optics* as the proper method of investigating natural phenomena. But to determinate *a priori*, and without sufficient evidence from experiments, what the nature of the refracting force is – *that* would be a hypothesis.”

Mas é certo que, mesmo havendo a dificuldade de se adequar Matemática à experiência, ao se apropriar de fenômenos luminosos, é possível constatar que “a dedução rigorosa da lei do seno, com base nessa suposição [força refratora], forneceu mais evidências da fertilidade da mecânica newtoniana, mostrando como a ideia de atração poderia ser estendida com sucesso no domínio da Óptica” (SABRA, 1981, p. 314)³²⁰; além disto, não há dúvidas que sua teoria Óptica buscou se desenvolver na prática exaustiva de experimentos, o que deu a Newton a possibilidade de ampliar o campo de formulações de leis físico-matemáticas aplicáveis na Filosofia Natural.

Embora Newton não faça uma “prova” experimental da força refratora, a lei do seno é uma prova verdadeira de que essa força pode na lei ser aplicada. A ação da força, na superfície refratora, é então evocada na *Óptica*, apesar de não ter uma interpretação experimental correspondente. É na Experiência 15, da Parte 1 do Livro I, que Newton observa que os quatro espectros refletidos na parede, refratados por prismas diferentes, possuem uma dada proporção entre si. E mesmo que esses prismas sejam retirados, a imagem circular branca, de onde emergem seus raios, aparece. Essa proporção pôde ser observada a partir da posição perpendicular do espectro na parede, em relação às tangentes das refrações de cada prisma. Mais do que isto, deste experimento foi possível deduzir a hipótese da ação da força atrativa da luz no meio transparente. Embora não se conheça a natureza da força atuante, ou pelo menos não se possa torná-la visível, a Experiência 15 é fundamental para que se deduza sua existência material, porém inobservável, mas constatada por um raciocínio matemático. A Regra III dos *Principia* nos ajuda a compreender como podemos introduzir um raciocínio desse tipo, por meio da “analogia da Natureza”:

Pois como as qualidades dos corpos só são conhecidas por nós por meio das experiências, devemos considerar como universais todas aquelas que concordam universalmente com as experiências, e as que não são capazes de diminuição não podem nunca ser completamente removidas. Certamente não devemos abandonar a evidência das experiências devido a sonhos e a ficções vãs de nossa própria criação, nem devemos nos afastar da analogia da Natureza, que tem o costume de ser simples e sempre consoante a si própria (NEWTON, 1974, 398-9)³²¹.

³²⁰ “The rigorous deduction of the sine law on the basis of that assumption provided further evidence of the fruitfulness of Newtonian mechanics, showing as it did that the idea of attraction could be successfully extended to the domain of optics.”

³²¹ “For since the qualities of bodies are only known to us by experiments, we are to hold for universal all such as universally agree with experiments; and such as are not liable to diminution can never be quite taken away.

Com essa regra, Newton nos mostra que as leis que se aplicam aos corpos visíveis, passíveis de experimentação, são universais, e, assim sendo, se aplicam a todos os corpos, sejam eles invisíveis ou inexprimíveis experimentalmente. Portanto, a Experiência 15 é como se fosse uma ampliação material da hipótese da ação da força atrativa da luz, no meio transparente, e por isso se deduz, pela lei de refração, o comportamento da luz com a ação da força refratora. No entanto, essa dedução não progride, nem dá origem a outras circunstâncias experimentais que possam prová-la por uma razão muito simples, a natureza da força atrativa é inexprimível experimentalmente e por isso permanece como proposição hipotética, que só pôde ser deduzida por analogia à Experiência 15.

Na Matemática, Newton consegue mostrar, por um lado, a independência da síntese em relação à análise, quando estabelece, nos *Principia*, a aplicação da lei de refração em termos de força; por outro lado, não há como aplicá-la adequadamente à ação da força atrativa, tanto do raio luminoso quanto da superfície refratora, a qualquer experimento, pois a interpretação dinâmica da refração, apesar de não ter uma “prova” experimental que possa validá-la, é deduzida a partir de uma constatação experimental, que amplia a ideia de força atrativa dos raios luminosos, através da analogia da Natureza. A função interpretativa da analogia pode até não ser satisfatória, do ponto de vista da argumentação indutiva, mas sua função cognitiva permite a interação entre o que pode ou não ser observado, como é o caso da força. Sua linguagem dinâmica permite essa interação, e numa teoria científica pode servir de modelo comparativo entre coisas diferentes, mas com determinados aspectos semelhantes, ou seja: “Uma analogia pode existir entre dois objetos, em virtude de suas propriedades comuns” (HESSE, 1970, p. 58). Na experiência 15, Newton faz a comparação entre os quatro espectros coloridos na parede com a lei de refração. Ao supor a ação da força na superfície refratora, Newton ilustra, com a linguagem de um modelo, uma propriedade da luz que não pode ser observada materialmente, mas que pode ser representada matematicamente. Ainda que se exija comprovação experimental da aplicação da força, é necessário considerar que os modelos, “[...] como metáforas, têm como objetivo a comunicação. Se algum teórico desenvolve uma teoria em termos de um modelo, ele não o considera como uma linguagem privada, mas o apresenta como um ingrediente de sua teoria” (HESSE, 1980, 116)³²².

We are certainly not to relinquish the evidence of experiments for the sake of dreams and vain fictions of our own devising; nor are we to recede from the analogy of Nature, which is wont to be simple, and always consonant to itself.”

³²² “[...] like metaphors, are intended to communicate. If some theorist develops a theory in terms of a model, he does not regard it as a private language, but presents it as an ingredient of his theory.”

CONCLUSÃO GERAL

Esta tese, fruto de uma pesquisa pautada no exame comparativo e exegético entre as diferentes teorias da luz de Descartes e Newton, trouxe, como problemática principal, a avaliação da capacidade demonstrativa dessas teorias, na explicação do fenômeno luminoso.

A partir de um enfrentamento epistêmico, diante de posições distintas sobre o significado de método, identificou-se que a matemática é, desde o século XVII, um ponto de partida para uma reflexão filosófica que busca, na análise e síntese, uma base sistemática para estruturar a prática científica. A tradição matemática trouxe referências importantes e complexas para a construção do saber científico. Semelhanças conceituais, em especial das operações de análise e síntese, delimitam formulações estruturais distintas, na física óptica de Descartes e Newton, mostrando que, na apropriação dos conceitos matemáticos dessas operações, em Papus especialmente, Descartes atribui maior ênfase à “resolução”, como etapa da descoberta analítica, ao contrário de Newton, que vê, na construção sintética, a “solução” definitiva do problema. Dentre posições distintas, a investigação sobre método de análise e síntese se conduziu na direção da prática científica como possibilidade de identificar caminhos epistêmicos compatíveis com as operações matemáticas. Encontrou-se, em Descartes, a dedução como operação mental orientada pela “disciplina” matemática, que, ao ser dirigida à física óptica, conduz rigorosamente os passos de análise e síntese, ao passo que, em Newton, a dedução se confunde com indução, fazendo sua prática científica ser orientada, no método de análise e síntese, de forma imprecisa.

Para o cumprimento desta tese, não menos importante foi considerar que a filiação histórica entre diferentes teorias científicas cumpre a excelência de mostrar a herança na qual se fez o pensamento científico moderno, em torno do problema fundamental dos efeitos visuais e da transmissão ou propagação do raio luminoso. Buscou-se, na teoria dos raios visuais de Ptolomeu, reconhecer essa filiação para uma interpretação filosófica das teorias da luz posteriores. Com ela, foi visto Alhazen elaborar uma teoria da luz, ainda que sensitiva, que permite alcançar um relevante salto histórico, favorecendo a passagem da óptica geométrica para a física óptica da modernidade. Entende-se, portanto, que a óptica geométrica se estabeleceu sem que com ela os princípios mecânicos do movimento fossem fornecidos, na explicação do comportamento do raio luminoso, como se observou em Alhazen e seus predecessores. Mas, com o aperfeiçoamento da trigonometria, tais princípios foram fornecidos

a partir da ciência mecânica dos movimentos, cujas leis não foram apenas observadas, mas aplicadas na elaboração da física óptica, particularmente, em Descartes e Newton.

Observa-se, por exemplo, que a tabela de refração fornecida por Ptolomeu oferece uma constante, embora se distancie daquilo que pode ser obtido concretamente, mas é uma conquista que evidencia a necessidade de se aplicar uma lei que forneça medidas concretas, como é o caso da lei de refração. Faltou-lhe, portanto, uma percepção mais detalhada daquilo que se pôde observar, no comportamento do raio luminoso no meio transparente, cujos índices de refração pudessem corresponder às observações. Por isto, Boyer (2007, p. 127) bem observa que as discrepâncias existentes entre os ângulos de incidência e os de refração tem origem numa generalização precipitada de Ptolomeu, em relação a constante por ele encontrada. Contudo, Alhazen não só resgatou, mas também aperfeiçoou a teoria dos raios visuais, na direção de uma óptica geométrica mais preocupada com a percepção sensível.

Assim, teorias sensitivas da ciência óptica buscaram uma solução para resolver o problema dos efeitos visuais e da propagação da luz, desde Ptolomeu, Euclides a Alhazen, Roger Bacon, Grosseteste, Vitelo e Kepler. E mesmo diante dos problemas que enfrentaram durante suas investigações, pela mesma razão histórica em que se dá a passagem da óptica geométrica à física óptica, a busca pela resposta envolveu diferentes perspectivas de métodos de investigação.

Ainda que se queira mostrar a filiação histórica do método filosófico e de conceitos para a formulação de uma física mecânica, como extensão, espaço, vazio, matéria substância, não há como evitar seu importante lugar no pensamento moderno, sobretudo na formulação de leis físico-mecânicas, essenciais para explicar a natureza do movimento e da ação dos corpos, uns sobre os outros. Para além disso, essas mesmas leis foram fundamentais para explicar o comportamento do raio luminoso, embora as teorias do movimento de Descartes e Newton façam apropriações distintas, em algumas ocasiões, apresentam problemas que cercam esses conceitos.

Não menos importante foi considerar a perspectiva filosófica, física e metafísica em Descartes e Newton, em torno da qual se originam diferentes concepções científicas e nas quais se formam toda estrutura da Filosofia Natural em ambos os filósofos. A metáfora da árvore do conhecimento, em Descartes, serve para ilustrar que a atividade cognitiva do pensamento só alcança o conhecimento através da disciplina e rigor constantes da Matemática para a garantia da certeza. Não importa qual seja o objeto de uma ciência em particular, a

“disciplina universal”, segundo o significado de *mathesis universalis*, é tomada como projeto de unificação das ciências. É o que conduz todos os passos e orienta a mente na direção da ordem e medida. Na sessão 3.1, a discussão em torno da qual se traduz *mathesis universalis* por “disciplina”, assume, como referência, a Regra IV do texto em latim, onde Descartes expressa o significado da matemática para além da Álgebra e Geometria. Portanto, o projeto de um sistema unificado traz consigo uma proposta compatível com o saber geral, em que Descartes compõe uma obra filosófica fundamentada por princípios metafísicos e naturais, destinados a todos os objetos de conhecimento.

Em contrapartida, no saber filosófico de Newton há um esforço em constituir um conjunto de obra unificado, mas a essência da filosofia, conforme discussão realizada na seção 4.1, ao se expressar, na elaboração de um método experimental, deixa a lacuna da Questão 31, ao identificar o método de análise geométrica com indução. Newton é um grande experimentador, a exemplo do que ele mesmo realiza nos experimentos exaustivos da *Óptica* como prática científica, em especial com os experimentos dos discos, possibilitando a descoberta da propagação ondulatória da luz. Ele é bem-sucedido na realização do cálculo infinitesimal, de onde surgiu uma metafísica particular do tempo, espaço e movimento absolutos, referência importante para a descoberta da lei da gravitação universal. Na *Óptica*, observou-se a aplicação da lei de refração na definição da propagação da luz em termos de velocidade e força. Entretanto, ao se ver compelido a mostrar a aplicação do método de análise e síntese, tanto nos *Principia* quanto na *Óptica*, após provocação de Leibniz e leibinizianos (SHAPIRO, 2004, p. 191), Newton assume posição pouco clara na definição de seu método experimental. Além disso, há nele o problema de adequar o método de análise e síntese matemáticas à prática experimental para mostrar que o rigor matemático está presente na indução. Adequar o método à Filosofia Natural é menos problemático quando se coloca análise e síntese como orientação e ordenação do pensamento do que, propriamente, como aplicação prática na indução. Considera-se, então, a indução como um modo de proceder experimental extensivo, pois seus argumentos gerais se estendem ao maior número de casos particulares, mas a análise, no sentido matemático do termo, é um modo racional de proceder e também dedutivo. Tanto McGuire (1970, p. 185) quanto Cariou (2019, p. 85) manifestam posições importantes quanto ao significado desses termos, conduzindo o leitor a uma reflexão sobre a qual se considera a análise, no interior da indução, um problema interpretativo que gera imprecisão.

O problema principal desta tese exigiu grande esforço de investigação para encontrar na Filosofia, Física e Metafísica a composição de saberes propositivos e que deram origem a descobertas científicas importantes, nas teorias da luz em questão. Descartes, por exemplo, revela a descoberta da lei de refração a partir da introdução de seus princípios metafísicos na física, onde seu programa científico preenche o estofado de seu projeto filosófico. Ademais, sua ideia de método é o que garante o conjunto de operações e orienta também o pensamento na prática científica, tal como é concebida em seu projeto de unificação das ciências, pelo rigor cognitivo do pensamento claro e distinto.

Newton, por outro lado, muitas vezes polêmico em sua doutrina, em razão das objeções que o fizeram modificar conceitos importantes nos *Principia* e na *Óptica*, nas várias edições publicadas, observou-se a imprecisão de conceitos que lhes são caros, em especial, com o descumprimento das etapas do método que ele se propõe a seguir. Ao identificar, na Filosofia Natural, que sua essência consiste na elaboração de um método experimental capaz de dar conta dos fenômenos físicos, a questão que se pensou foi o de mostrar como ele introduziu o método de análise e síntese na prática científica. A partir disto, seu projeto científico requer orientação e rigor que, na matemática, podem servir de instrumento de orientação do pensamento e de experimento.

Com efeito, o método cartesiano se apresenta como um sistema extremamente rigoroso e complexo, comparado ao de Newton, pois Descartes segue paulatinamente cada parte da estrutura rigorosa do pensamento, capaz de desabar se alguma de suas partes lhe for retirada. No exame da *Dióptrica*, observou-se que cada elo do saber constituído está conectado de forma fixa, e é possível identificar, inclusive, quais são as terminologias que configuram cada etapa do método de análise e síntese. Onde Descartes afirma ter “redução”, pressupõe-se que a apropriação da experiência, como um problema complexo, exige explicação a partir de uma operação mental, a qual se denomina “suposição”. Essas duas terminologias se manifestam para significar o começo do método de análise. Algumas objeções questionam o uso das suposições, a oposição mais clássica é a de Morin (DESCARTES, AT, VI, 1973, p. 76), pois ele não vê clareza na explicação para seu uso nas ciências físicas. Porém, as *Regras* são o ponto de partida fundamental, não só para definir essas terminologias e apresentar a estrutura do método, mas também para ensinar, passo-a-passo, como aplicá-lo nos vários objetos de conhecimento. Se não houver atenção para uso dessas terminologias, a estrutura do método se compromete, como é caso da interpretação de

Loparic, para quem o conceito de análise se perde: “a síntese cartesiana não precisa partir de proposições evidentes e pode também utilizar proposições hipotéticas ou até mesmo reconhecidamente falsas” (1997, p.148). Segundo ele, a *Dióptrica*, os *Meteoros* e os *Princípios* são exemplos desse tipo de síntese e tenta nos convencer de que o uso das hipóteses é ilegítimo nesses casos. Ao contrário, Descartes parte de princípios que para ele são evidentes sempre que a composição sintética é requerida, como é o caso da lei de refração, embora existam princípios que não sejam tão evidentes, como o de inércia, por exemplo. Assim como também se observa a falta de evidência na determinação do desvio do raio luminoso, que perde ou ganha parte de seu movimento ao atravessar o meio transparente. Em contrapartida, é possível notar que a determinação da velocidade é o que permite medir sua quantidade de movimento, mas essa determinação Descartes não percebe. Para Fermat, o paralogismo consiste nisso, em considerar ganho ou perda de movimento a partir da concepção da transmissão instantânea da luz (DESCARTES, AT, I, 1973, p. 468), sem que com ela se possa medir a quantidade de velocidade. O problema apresentado por Fermat, e também por Newton, mostra uma confusão entre os conceitos de determinação da força e pressão, respectivamente, atribuídos ao modo como se dá a transmissão da luz. A objeção de Fermat é consistente, porém, fica claro o quão comprometido fica o método cartesiano se Descartes renunciar ao conceito de determinação: todo seu sistema cai por terra porque suas leis de movimento são o que define a transmissão instantânea da luz, e sem essas leis, não há ciência mecânica nem teoria da luz.

Entretanto, precisa-se compreender que, quando Descartes fala de síntese, está se referindo a um tipo de demonstração onde “construção” e “prova” só ocorrem onde não há mais traços de qualquer percepção sensível. O problema interpretativo se testemunha quando se diz que a síntese não parte de princípios evidentes, sendo que, tanto na *Geometria* quanto na *Regras*, Descartes explica a importância de se descobrirem princípios verdadeiros nas etapas da redução e resolução analíticas, ao se requerer demonstrações sintéticas. Outro exemplo desse tipo de interpretação ocorre com Sabra (1981, p. 33): “Ou seja, a *Dióptrica* retoma o argumento dedutivo e o segundo passo da síntese, onde as analogias não são apenas admissíveis, mas sim exigidas pela natureza do problema”³²³. O lugar das analogias, em Descartes, é na análise, não na síntese como supõe Sabra em suas conclusões. As ciências

³²³ “That is to say, the Dioptric takes up the deductive argument at the second step of synthesis where analogies are not only permissible but, rather, required by the nature of the problem.”

naturais, por sua ação ordinária, apresentam seus problemas na percepção sensível. Os sentidos, portanto, são os principais veículos de comunicação entre experiência e espírito. As operações mentais, por outro lado, não são capazes de produzir conhecimento sem que com elas se faça a redução da experiência. As analogias, por meio da ação cognitiva do pensamento, transmitem a ideia de que a percepção sensível deve se comportar de forma semelhante aos objetos da mente em determinados efeitos particulares. As analogias servem para aproximar os conteúdos da natureza aos conteúdos do pensamento, e, por suposição, conduzem o pensamento a partir dos conteúdos mentais. A exemplo disso, o Discurso I da *Dióptrica* introduz as analogias do bastão do cego, da bola na raquete e do vinho na cuba para explicar a ação da luz pelas leis do movimento. Em tais comparações, supõe-se que o comportamento da luz deve ser conduzido à redução geométrica. Ou seja, analogia e suposição são ações puramente cognitivas que ocorrem no campo do pensamento, comparando objetos sensíveis à objetos mentais a fim de expulsar do pensamento qualquer traço da percepção sensível. Nas Regras do pensamento claro e distinto- em especial na Regra IV, a suposição põe fim à percepção sensível através de analogias e/ou comparações, assumindo seu lugar na análise. Não cabe, no lugar da síntese, qualquer traço da percepção sensível, mas somente princípios verdadeiros com os quais se deduzem outros efeitos que podem ser encontrados na natureza (DESCARTES, AT, I, 1973, p. 468). Análise e síntese são regras de pensamento pelas quais Descartes estima assegurar a verdade pelo rigor e disciplina matemática nelas presentes. Talvez a dificuldade para Sabra e Loparic seja encontrar o que Descartes deixou disperso sobre a explicação das etapas do método, no interior de sua obra. Ademais, a primazia dada à análise perde o sentido se não for compreendido que somente com ela se revela o modo como se conquista os princípios da síntese.

Ao realizar a dedução da transmissão instantânea da luz, da sua ação em linha reta, da refração e reflexão, na *Dióptrica*, tais deduções tiveram, por princípio, a suposição redutiva, a do modelo da bola na raquete arremessada em diferentes meios: os circulares, os maleáveis e os duros para constatar que o mundo físico é regido pelas leis do movimento, e que essas leis, pela ação da força e distância, regem a lei de refração. Com a dedução desta lei, o caminho do conhecimento passa a ser conduzido pela “resolução”, que assume a função técnica de provar que a hipérbole possui a evidência matemática desejada para a construção das lentes hiperbólicas. Como não há a realização da prova de que a transmissão da luz é instantânea, pode-se concluir que tal prova não pôde ser fornecida porque sua transmissão não possui

evidência matemática, ao menos a que é requerida por Fermat, que usou a determinação como ação “vetorial” no desvio (MOREIRA *in* FUKS, 1997, p. 153).

Foi visto, na seção 5.2, que apesar do Segundo Discurso da *Dióptrica* introduzir a ação da força e distância na lei de refração, considerar que a determinação do desvio define apenas a direção do raio, representa, para Fermat, a ausência da noção de velocidade para calcular a quantidade de movimento. O uso dos conceitos de força e de distância, para explicar a determinação do desvio da luz, pode não ter sido o bastante para tornar evidente sua transmissão instantânea, pois faltou a Descartes a noção de velocidade. Pode ser que Descartes tenha notado esse problema, e por isso mesmo optou por não provar a transmissão instantânea da luz, na *Dióptrica*. Ao adotar a noção de rapidez, a quantidade de movimento não precisa ser calculada.

As provas que foram realizadas na *Dióptrica* são demonstrações bem pontuais, por isso as terminologias fornecidas nos ajudam a identificar em qual das etapas a dedução é realizada. Quando se fala de composição e prova, identifica-se o lugar da síntese que, impreterivelmente, só dá início à demonstração a partir de princípios verdadeiros. Sendo Descartes um filósofo sistemático, adotar um método de raciocínio é, para ele, uma disposição de espírito. A base matemática para a construção do conhecimento serviu-lhe para elaborar uma estrutura complexa para seu sistema. Essa base, porém, é o que orienta a ação cognitiva do pensamento para fixar na mente cada parte da estrutura do conhecimento. Sua obra é arquitetônica e, conforme a explicação exegética da *Dióptrica*, na seção 5.2, sua estrutura está em conexão com cada etapa dedutiva, com elos bem fixados para a construção de seu projeto científico.

Newton, por sua vez, dá importantes passos nas descobertas que realiza na *Óptica*. Porém, os passos que ele conduz aprofundam ainda mais a complexidade e compreensão do método de análise e síntese. Como matemático, ele se coloca diante de outra interpretação sobre o método de análise e síntese. Observou-se que a filiação histórica entre ele e Descartes foi a mesma, pois o conceito de análise foi obtido a partir da interpretação da análise geométrica de Pappus e de Euclides, basicamente. Apesar da filiação ser semelhante, considerando que Descartes, estudou Viète, Apolônio, Diofanto, enfim, ambos reconhecem o significado e utilidade da análise, porém, um preterindo a síntese e o outro a análise. Descartes deixa claro que sua predileção é dada à análise, que mostra o caminho pelo qual a coisa buscada é encontrada, mas que, muitas vezes dispensa a síntese por nela não exigir

demonstração nos problemas mais simples. Ao passo que Newton assume posição contrária, mas com uma importante diferença: a análise é a “solução” invertida, conforme explicação dada na seção 6.1, e por isso prefere a síntese porque é nela que um problema matemático é solucionado.

Todavia, a matemática, em Newton, não é apenas uma ciência das quantidades, é também um instrumento de demonstração na filosofia experimental. Espera-se, ao menos, que a combinação do método de análise e síntese com ciências naturais também possa se servir de instrumento de orientação do pensamento e isto já seria de bom proveito na realização de investigações sobre qualquer tipo objeto de conhecimento. Pensa-se nisto quando se examina a relação estabelecida entre análise e indução, segundo a relação que Newton enuncia na Questão 31 ao tratar do método conduzido na *Óptica*. Esta é uma relação que, segundo Oldroyd (Cf., 1986, p. 27) interfere na compreensão clara do significado do método de análise e síntese geométrica. É preciso então separar a indução da análise geométrica, já que este conceito não se aplica como operação dedutiva na ciência experimental. Se a análise for colocada no interior da indução, a compreensão da indução torna-se complexa e problemática.

A estrutura complexa do método defendido por Newton não corresponde exatamente à estrutura da indução, que tem seus próprios instrumentos na elaboração de seus conceitos. Como os conceitos matemáticos não correspondem aos conceitos da indução, pergunta-se se “redução” e “resolução” matemáticas darão conta de um método indutivo. Esta pergunta se fundamenta na falta de clareza da Questão 31 da *Óptica*, ao se colocar diante da noção vaga sobre análise e síntese indutivas. A querela entre Newton e leibnizianos foi o que tornou a Questão 31 um objeto de investigação muito complexo, pois as várias edições da *Óptica* poderiam revelar o real significado dessas modificações, até porque, como já se sabe com Shapiro, Newton abandona os rascunhos da *Óptica* que ele tentou reformular (Cf. 2004, p. 193). Há também a possibilidade de considerar que, sob o pretexto de rebater os leibnizianos, é que Newton reformulou várias vezes, não só a *Óptica*, mas também os *Principia*, mas que, já no Livro 2 da *Óptica*, ele desiste da reformulação.

O fato é que a analogia entre Filosofia Natural e o método de análise e síntese é em si mesma problemática, se não se separa da indução o conceito de análise matemática. Seria mais apropriado conformar a análise à indução, não mais como matemática, mas lógica, que é o lugar onde a indução é definida como o tipo de conhecimento que parte dos efeitos às causas, que seu conteúdo não é demonstrativo, mas que, ainda assim, produz inferências

válidas com origem na experiência. Não há, na Questão 31, um esboço do que se queira denominar “solução invertida”, porque dela se extraem princípios verdadeiros para que a síntese possa conduzir a “solução” do problema. O que Newton nos mostra nessa questão é uma mistura de conceitos da análise e síntese matemáticas e do método experimental. Se o método de análise e síntese é matemático, conforme a tradição que ele herdou, não há como encaixar o conceito de indução na sua prática científica.

Avanços significativos, como a descoberta da imutabilidade da cor, pelo grau de refrangibilidade, mostra que, mesmo sendo sua causa desconhecida, é incontestável a heterogeneidade do raio colorido. Apesar disso, há uma insistência de Newton em concluir que a luz branca é uma composição de todas as cores dos raios coloridos, mesmo sendo rebatido por Huygens, que prova que o branco pode ser produzido apenas pelos raios amarelo e azul (NEWTON, 1958, p.136). No Livro II, observou-se que a estrutura argumentativa de análise e síntese desaparece das experiências, havendo então uma descrição das observações sem que Newton cumpra com o que ele determina na Questão 31. Ainda que haja desconexão conceitual na sua estrutura argumentativa, a seção 6.2 tratou de mostrar que a Observação 7 da Parte 1 do Livro II é um exemplo experimental bem-sucedido, na determinação quantitativa bem detalhada sobre a espessura de ar entre os anéis, como efeitos da fricção de uma lâmina de vidro sobre a outra (NEWTON, 1993, p. 462).

A questão que se coloca sobre a indução, na Questão 31, é que Newton sabe que, mesmo sendo a indução a melhor argumentação para as generalizações, ainda assim elas não são “demonstrações de conclusões gerais”. Por isto a síntese é requerida para validar o que a “análise” encontrou na indução. Veja agora que a conexão causal só é fornecida na síntese porque ela deve “explicar por elas [as causas] os fenômenos [efeitos] que delas procedem e em provar as explicações” (*Ibid.*, p.543). Isso indica que Newton sabe que a indução não é uma argumentação demonstrativa, em contrapartida, ela aparece, na Parte 1 do Livro I da *Óptica*, como “demonstração” por experiência. Ou seja, não há uma conexão entre o que ele faz e o que ele diz na Questão 31.

No entanto, o que se pode dizer é que, mesmo não havendo conexão entre o que se faz e o que se diz, a estrutura argumentativa da análise só caberia na indução se por ela Newton entendesse, na Parte 1 do Livro I, por exemplo, que das experiências não se formulam provas ou demonstrações, e assim, o argumento indutivo se encaixaria no método de análise e síntese, sem essa confusão de fundir seu significado matemático com o experimental.

Para além daquilo que Descartes e Newton entendem por método de análise e síntese, a prática científica depende também de outras configurações importantes para realização de suas descobertas. O uso de modelos, por exemplo, pode ser visto como instrumento apropriado para a linguagem científica, permitindo a relação entre coisas que podem ser observadas e as que não podem (HESSE, 1980, 116). Newton, particularmente, busca fazer dos modelos um instrumento de comunicação para aquilo que a experiência ou a observação não é capaz de comprovar. Na falta de experimento para eventos impossíveis de serem observados, o modelo, como linguagem metafórica, assume a função cognitiva de relacionar coisas diferentes com coisas semelhantes por comparação, como é o caso da ação da força refratora obtida na Experiência 15 da Parte 1 do Livro I da *Óptica*. Para ele, a experiência dos quatro espectros refletidos na parede é como uma “analogia da Natureza”, ampliando uma ação que ele entende ser deduzida pela lei de refração. Nesse sentido, ele deu existência material para a ação invisível da força, mas o que ele de fato fez foi “reduzir” a experiência à lei de refração ao encontrar a proporção existente entre o plano refrator e seu espectro. Portanto, considera-se agora que a análise, como operação redutiva, pode ser pensada como orientação cognitiva, seguindo assim a tradição do método de análise e síntese da Geometria. Do ponto de vista conceitual, a lei de refração demonstra a ação da força, mas a experiência, como indução nada demonstra. Apesar da confusão conceitual existente com a mistura entre análise geométrica e indução, o modelo experimental, embora não expresse a natureza da força, é a manifestação daquilo que Hesse denomina de “metáfora”, que serve de instrumento para expressar uma teoria científica.

Já em Descartes, observa-se a presença do método de análise e síntese da tradição geométrica como regras de pensamento. Ele segue rigorosamente cada passo das etapas do método por ele definido nas *Regras*, mostrando que a Matemática, como “disciplina” orienta o pensamento na construção do saber científico. No Oitavo Discurso dos *Meteoros*, há uma ilustração de como as etapas do método são cumpridas, fazendo uso de modelos geométricos como reduções das observações, como no caso do arco-íris. Esses modelos servem de linguagem para expressar o que a observação não é capaz de mostrar. Ao introduzir a lei de refração para explicar a posição dos arcos e a ação do raio luminoso na gota d’água, Descartes, por demonstração sintética, fornece resultados quantitativos para a determinação dos ângulos de emergência de cada cor do espectro, quando elabora uma tabela com resultados mais precisos em que os arcos podem ser vistos (DESCARTES, AT, VI, 1996, p. 339-40). Porém, na *Dióptrica*, não se vê a presença de cálculos para fornecer resultados

quantitativos, a despeito do que Fermat observa com a determinação do desvio do raio de luz. Com a ausência da determinação da velocidade, fornecer cálculos precisos não é possível e Descartes se satisfaz apenas com o desvio a fim de preservar a ação instantânea da luz. O que se vê, na *Dióptrica*, corresponde a uma execução sistemática do método de análise e síntese, obedecendo todas as etapas, fornecendo, pela lei de refração, o posicionamento dos raios com a curva anaclástica, mesmo sendo a ação da luz definida em termos de desvio.

Ainda que Descartes e Newton obtenham avanços significativos na física óptica, o método de análise e síntese pode ser pensado como um instrumento de organização do pensamento, como regras da razão que permitem elaborar uma estrutura argumentativa para obter importantes descobertas. Além disso, a busca pela explicação dessa estrutura fez esta tese cumprir a tarefa exegética de mostrar, nesses filósofos, a execução de cada etapa do método em suas teorias da luz. Ao mostrar o ganho conceitual sobre o significado de análise e síntese, quando se considera a transição entre óptica geométrica e física óptica, a ideia geométrica de movimento é o que vai guiar o pensamento científico em busca de uma resposta para os problemas da natureza. Com isso, trazer para essa discussão o problema da extensão, nas leis de movimento que explicam o choque entre os corpos, elucidou-se o papel secundário da experiência na *Dióptrica* de Descartes e o problema do rigor metodológico na *Óptica* de Newton. Com essa tarefa, permitiu-se identificar o cumprimento de cada etapa do método ao se promover uma articulação entre os conceitos matemáticos e os da ciência experimental, o que pôde esclarecer o lugar da análise e síntese na prática científica.

BIBLIOGRAFIA

Obras primárias:

ALQUIÉ, F. *Descartes: Œuvres philosophiques*. Tome II. Paris: Garnier, 1967.

DESCARTES, R. *Discours de la méthode*. Paris: Vrin, 1987. Avec texte et commentaire par E. GILSON.

____ *Œuvres et lettres*. Par BRIDOUX, A. Paris: Gallimard, 1999.

____ *Œuvres*. Paris : Vrin, 1973-78, 11 vol. Publiées par Charles Adam e Paul Tannery.

____ *Œuvres*. Paris: Vrin, 1996. 11 vol. Publiées par Charles Adam et Paul Tannery.

____ *Œuvres complètes*. Publiées par Victor Cousin, édition Levrault, 1874. E-Book Kindle. Genève : Arvensa Editions.

NEWTON, I. A "Nova Teoria sobre Luz e Cores". In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Uma tradução comentada por MARTINS, R. A. & SILVA, C. C. Vol. 418, nº 4, dezembro, 1996, pp. 313-327.

____ *Arithmétique universelle*. Tome second, par BEAUDEUX, N. Paris: Libraire Bernard, 1802.

____ *De Gravitatione et aequipondio fluidorum*. In: Unpublished scientific papers of Isaac Newton. Chosen, edited and translated by A. R. HALL & M. B. HALL. Cambridge: Cambridge University Press, 1978, pp. 89-156.

____ *Optics*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1993.

____ *Óptica*. São Paulo: Edusp, 2002.

____ *Papers & letters on natural philosophy*. Edited by COHEN, I. B. & SCHOFIELD, R. E. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1958.

____ *Papers*. MS. Add. 3970. Cambridge University Library. Disponível em: <[Newton Papers \(cam.ac.uk\)](http://www.newtonpapers.cam.ac.uk)>. Acesso em: 28 nov. 2021.

____ *Principia: mathematical principles of natural philosophy and his system of the world*. By Florian Cajori. Volume One. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1974.

____ *Principia: mathematical principles of natural philosophy and his system of the world*. By Florian Cajori. Volume 2. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1973.

____ *Principia: princípios matemáticos da Filosofia natural*. Livro I. São Paulo: Edusp, 2008.

____ *Principia: princípios matemáticos da Filosofia natural*. Livros II e III. São Paulo: Edusp, 2008.

____ *The Principia: mathematical principles of natural philosophy*. A new translation by COHEN, I. B. & WHITMAN, A. preceded by a guide to Newton's Principia by I. COHEN, B. USA: University of California Press, 1999.

____ *The correspondence*. Volume one, By TURNBULL, H. W. Cambridge: Royal Society at the University Press, 1959.

____ *The correspondence*. Volume two, By TURNBULL, H.W. & Others. Cambridge: Cambridge University Press, 1960.

____ *The correspondence*. Volume five, By HALL, A.L. TILLING, L. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.

____ *The mathematical papers*. Vol. VII. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.

____ *The optical papers of Isaac Newton: the optical lectures 1670-1672*. Edited by SHAPIRO, A. E. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

Obras complementares:

ABBAGNANO, N. *Dicionário de Filosofia*. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

ACZEL, A. *O caderno secreto de Descartes: um mistério que envolve a Filosofia, Matemática, história e ciências ocultas*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2007.

AL-HAYTHAM. *The optics*. Books I-III. Translated with introduction and commentary SABRA, A. I. London: The Warburg Institute University of London, 1989. Disponível em: <https://archive.org/details/A.I.Sabraed.Trans.TheOpticsOfIbnAlHaythamBooksIIIOnDirectVision.TranslatedWithI>. Acesso em: 24 mar. 2017.

ALHACEN. *On refraction*. A Critical Edition, with English Translation and Commentary, of Book 7 of Alhacen's "De Aspectibus," the Medieval Latin Version of Ibn al-Haytham's "Kitāb al-Manāzīr." Volume One. New Series, Vol. 100, No. 3. Introduction and Latin Text SMITH, A. M. Philadelphia: Transactions of the American Philosophical Society, 2010. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/20787647>. Acesso em: 22 mar. 2017.

ARAÚJO, C.R.R. Verdade e interesse na cosmogonia de Descartes. In: *Cadernos de história e Filosofia da ciência*. Campinas : CLE, jan.-dez., 1990, S. 2, v. 2, n. esp., pp. 17-57.

ARISTOTE, Physics III, 5. Disponível em: <http://www.intratext.com/IXT/ENG2261/PN.HTM>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

ARISTÓTELES. Analíticos posteriores. In: *Organon*. São Paulo: Edipro, 2005. (Série Clássicos Edipro).

BACON, F. *Novum organum*. São Paulo: Abril Cultural, 1973. (Coleção Os pensadores).

BATTISTI, C. A. *O método de análise em Descartes: da resolução de problemas à constituição do sistema do conhecimento*. Cascavel: Edunioeste, 2002. 420 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - Curso de Pós - Graduação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BIÃO, R. *Exame da demonstração cartesiana: da explicação à prova no fenômeno do arco-íris*. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Curso de Pós-Graduação, Universidade de Brasília, Brasília.

BELKAVAL, Y. *Leibniz critique de Descartes*. Paris: Gallimard, 1960.

BENOIT, P. MICHEAU, F. El intermediário árabe. In: SERRES, M. *Historia de las ciências*. Madrid: Edições Cátedra, 1998, pp. 175-201.

BEYSSADE, J-M. *Descartes au fil de l'ordre*. Paris: PUF, 2001.

BLAY, M. La vue et la lumière : Sur quelques aspects de l'histoire de la lumière. In: *Revue d'histoire des sciences*. 2007/1 (Tome 60), p. 119-132. Disponível em: <http://www.cairn.info/revue-d-histoire-des-sciences-2007-1-page-119.htm>. Acesso em: 03 mai. 2017.

BOYER, C. *The rainbow: from myth to mathematics*. New Jersey: Princenton University Press, 1987

BRÉHIER, E. *Histoire de la philosophie*. Paris: Alcan, 1929.

BRUNO, G. *Acerca do infinito, do universo e dos mundos*. Trad. Aura Montenegro. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

BURTT, E.A. *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1960.

CAHNÉ, P.A. *Un autre Descartes : le philosophe et son langage*. Paris: Vrin, 1980.

CARIOU, J-Y. *Histoire des démarches scientifiques: de l'Antiquité au monde contemporain*. Paris : Éditions Matériologiques, 2019. Collection Histoire des sciences et des techniques.

COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Livro I, cap. I e X. Trad. A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

COHEN, I.B. & WESTFALL R.S. *Newton: texto, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto/Eduerj, 2002.

COTTINGHAM, J. *Dicionário Descartes*. Trad. Helena Martins. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1995.

CROMBIE, A. C. & WICKES, H. A propos de la *Dioptrique*: l'expérience dans la philosophie naturelle de Descartes. In: MÉCHOULAN, H. *Problématique et réception du Discours de la Méthode et des essais*. Paris: Vrin, 1988, pp. 65-79.

DISALLE, R. Newton's philosophical analysis of space and time. In: COHEN, B. I. & SMITH, G.E. *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 33-56.

FOUILLÉE, A. *Descartes*. Paris: Hachette, 1893.

GABBEY, A. Newton, active powers, and the mechanical philosophy. In: COHEN, B. I. & SMITH, G.E. *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 329-357.

GALILEI, G. "Carta a Ingoli". In: *Scientiae studia*. Trad. Pablo Rubén Mariconda. São Paulo, v. 3, n. 3, 2005, pp. 477-516. Disponível em: <http://www.scientiaestudia.org.br/revista/PDF/03_03_06.pdf>, acesso em 31 ago. 2017.

_____. *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*. Disponível em: <http://it.wikisource.org/wiki/Dialogo_sopra_i_due_massimi_sistemi_del_mondo_tolemaico_e_copernicano/Giornata_terza>; <http://it.wikisource.org/wiki/Dialogo_sopra_i_due_massimi_sistemi_del_mondo_tolemaico_e_copernicano/Giornata_quarta>, acesso em 31 ago. 2017.

_____. *Il saggiaiore*. Disponível em: <http://it.wikisource.org/wiki/Il_Saggiaiore/6>, acessado em 31 de ago.2017.

GARBER, D. *Descartes embodied: reading cartesian philosophy through cartesian science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

GAUKROGER, S. *Descartes: an intellectual biography*. Oxford: Clarendon Press, 1997.

GLEICK, J. *Isaac Newton: uma biografia*. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

GOLDSTEIN, C. El uno es el otro: una historia del círculo. In: SERRES, M. *Historia de las ciencias*. Madrid: Educes Cátedra, 1998, pp. 151-173.

GUEROULT, M. *Descartes selon l'ordre des raisons*. 2 vol. Paris: Aubier, 1953.

GUERLAC, H. Newton and the Method of Analysis. In: *Dictionary of the History of Ideas*. Vol. 3. New York: Charles Scribner's Sons, 1973, pp. 379-391.

GUICCIARDINI, N. Analysis and synthesis in Newton's mathematical work. In: COHEN, I. B. & SMITH, G. E. *The Cambridge companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 308-328.

_____. *Isaac Newton on mathematical certainty and method*. Cambridge, London: MIT, 2009.

HALL, A. R. & HALL, M.B. Newton e a teoria da matéria. In: COHEN, I.B. & WESTFALL R.S. *Newton: texto, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto/EdUERJ, 2002.

HESSE, M. *Models and analogies in science*. Indiana: University of Notre Dame Press, 1970.

_____. *Revolutions and reconstructions in the philosophy of science*. London: Indiana University Press, 1980.

HINTIKKA, J. & REMES, U. A análise geométrica antiga e a lógica moderna. In: *Cadernos de história e Filosofia da ciência*, Campinas: CLE, 1983, n.4, pp. 28-47.

KOBAYASHI, M. *La philosophie naturelle de Descartes*. Paris: Vrin, 1993.

KOYRÉ, A. *Do mundo fechado ao universo infinito*. São Paulo: Forense Universitária, 1979.

_____. A contribuição científica da renascença. *Estudos de história do pensamento científico*. Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1991. pp. 46-55.

KEPLER, *Optics: Paralipomena to Witelo & Optical Part of Astronomy*. Virginia: Green Lion Press, 2000.

LAKATOS, I. *Mathematics, science and epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

LANDIM FILHO, R.F. *Evidência e verdade no sistema cartesiano*. São Paulo: Loyola, 1992. (Coleção Filosofia)

PTOLÉMÉE, C. *L'Optique de Claude Ptolémée: dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*. Édité par LEJEUNE, A. Leiden: E. J. Brill, 1989 (Collection de Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences). Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=wix2KmukK84C&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 03 abr.2017.

MACH, E. *The principles of physical optics an historical and philosophical treatment*. USA: Dover Publiclations, 1926.

McGUIRE, J.E. NEWTON, I. Newton's "Principles of Philosophy": An Intended Preface for the 1704 "Opticks" and a Related Draft Fragment. In: *The British Journal for the History of Science* , Dec., 1970, Vol. 5, No. 2 (Dec., 1970), pp. 178-186, Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4025417> . Acesso em: 19 out. 2021.

_____. *Tradition and innovation newton's metaphysics of nature*. Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1996. (Series Philosophy of Science, v. 56).

MARTINS, R.A.; SILVA, C.C. As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 34, 2015, pp. 1-32. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/JY8NCgHBqbPp3XDBxwgJMSt/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MARTINHO, M.P.C. *O experimento de Ptolomeu: uma introdução ao estudo da refração luminosa*. Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2013. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acesso em: 19 abr. 2017.

METZGER, H. *La méthode philosophique en histoire des sciences*. Paris : Fayard, 1987.

MILHAUD, G. *Descartes savant*. Paris : Alcan, 1921.

MOREIRA, I.C. Fermat X cartesianos: uma economia da natureza? In: FUKS, S. (Org.) *Descartes: um legado científico e filosófico*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997, pp. 145-169.

NICOLAU DE CUSA. *A douta ignorância*. Livro II, cap. XI. Trad. João Maria André. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2003.

OLDROYD, D. *The arch of knowledge: an introductory study of the history of the philosophy and methodology of science*. London : Methuen & Co. Ltd, 1986.

RASHED, R. Analysis and Synthesis According to Ibn al-Haytham. In: WARTOFSKY, M. (Org.) *Artifacts, representations and social practice*. v. 154. Boston: Springer Science Business Media Dordrecht, 1994. Disponível em:

https://link.springer.com/article/10.1007%2F978-94-011-0902-4_8/lookinside/000.png

Acesso em: 03 mai. 2017.

____ Le “Discours de la lumière” d'Ibn al-Haytham (Alhazen). Traduction française critique. In: *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 21, n°3, 1968. pp. 197-224. Disponível em: http://www.persee.fr/doc/rhs_0048-7996_1968_num_21_3_2560. Acesso em: 03 mai./2017.

RODRIGUES NETO, G. Euclides e a Geometria do raio visual. In: *Scientiæ studia*, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 873-92, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ss/v11n4/v11n4a07.pdf>. Acesso em 20 set/2017.

ROSSI, P. *Os filósofos e as máquinas*. Trad. Federico Carotti. São Paulo: Companhia das Letras, 1989.

RONAN, C. A. *História ilustrada da ciência*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

RUSSELL, B. *História do pensamento ocidental: a aventura das ideias dos pré-socráticos a Wittgenstein*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

SABRA, A. I. *Theories of light: from Descartes to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

SARTON, G. *Ancient science and modern civilization*. USA: University of Nebraska Press, 1959.

SCOTT, J.F. *The scientific work of René Descartes*. London: Taylor & Francis Ltd, 1976.

SHAPIRO, A. E. Experimentação e Matemática na teoria newtoniana da cor. In: COHEN, I. B. & WESTFALL, R.S. *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto/EDUERJ, 2002, pp. 237-250.

____ Newton's optics and atomism. In: COHEN, I. B. & SMITH, G. E. *The Cambridge companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 308-328.

____ Experimental philosophy. In: *Early science and medicine*. Minnessota: Brill, Vol.9, n. 3, pp. 185-217, 2004. Disponível em: <[A "Filosofia Experimental" de Newton no JSTOR](#)>. Acesso em 20 out/2020.

STEIN, H. Newton's metaphysics. In: COHEN, B. I. & SMITH, G.E. *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 256-307.

TIMMERMANS, B. *La résolution des problèmes de Descartes à Kant*. Paris: PUF, 1995.

TOSSATO, C.R. Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler, In: *Scientiæ studia*, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 471-99, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662007000400003 Acesso em: 22 de mar. 2017.

TOURNADRE, G. *L'orientation de la Science cartésienne*. Paris : Vrin, 1982.

VUILLEMIN, J. *Mathématique et métaphysique chez Descartes*. Paris : PUF, 1960.