

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

BRENO ARSIOLI MOURA

**A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII:
subsídios para discutir a Natureza da Ciência no ensino**

SÃO PAULO

2008

BRENO ARSIOLI MOURA

**A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII:
subsídios para discutir a Natureza da Ciência no ensino**

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências – modalidade Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cibelle Celestino Silva

SÃO PAULO

2008

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Moura, Breno Arsioli

A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a natureza da ciência no ensino - São Paulo - 2008

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Física e Instituto de Física de São Carlos –
Depto. de Física e Informática (IFSC)

Orientador: Prof. Dr. Cibelle Celestino Silva

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Unitermos: 1. História da Ciência; 2. Óptica; 3. Ensino;
4. Século XVIII; 5. Isaac Newton.

USP/IF/SBI-053/2008

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu pai Nelson, pelo caráter e pelo exemplo de honestidade; à minha mãe Elcia, pelo carinho e afeto sem fim; e à minha irmã Thais, pelo companheirismo, cumplicidade e alegria de nossa convivência. A dedicação de vocês foi crucial para o fim dessa jornada. Também agradeço às minhas tias em São Paulo (Vera e Roseli), que me proporcionaram conforto, segurança e alento sempre que precisei.

Por ser parte fundamental dessa empreitada, agradeço imensamente à minha namorada Juliana. Seu apoio, sua bondade e, principalmente, seu amor maior foram motores determinantes para que cada linha dessa pesquisa fosse escrita. Obrigado por ser minha base emocional e meu refúgio em todos os momentos. Também agradeço à sua família, pelo carinho compartilhado nesses longos anos.

Ao Esdras, Lu, Fred, Roseline, Sylvia, Brana e Schirmer pelos sensatos e inestimáveis conselhos e broncas. À minha parceira “histórica” Thais Forato, pela atenção e auxílio nas horas complicadas. A cada um de vocês devo parte desse trabalho. A sabedoria de suas palavras foi essencial para a minha formação como pesquisador e indivíduo. Levo de suas amizades a certeza de que elas continuarão pelos tempos, não importa o que aconteça.

Aos meus amigos no colégio, Fernanda, Flaviane, Lúcia e Tiago, por estarem na minha memória em todos os bons momentos da minha juventude. Nossa trupe deixou muitas saudades, mas é pra isso que servem os reencontros!

Agradeço à Marcília, Luciana, Jackelini, Giselle, Lúcia Helena, Glauco, Roberto, Francisco, Renata, Cristina e aos professores Cristiano e Maria Regina pelas prosas no corredor, nos cafés e nos congressos. Tenho muita admiração e respeito por todos vocês. Também agradeço aos funcionários da pós Aílton, Camila, Leonardo e Ellen pelas ajudas prestadas.

Agradeço imensamente à minha orientadora Cibelle. Seu apoio e atenção foram fundamentais para cada passo meu nesse caminho pelo Ensino de Ciências e pela História da Ciência. Aprendi muito e serei eternamente grato por isso.

Por fim, agradeço à FAPESP pelo apoio desde a iniciação científica até o final dessa dissertação de mestrado.

Resumo

A compreensão da Ciência como um empreendimento dinâmico e em constante transformação tem se tornado uma das mais importantes metas da educação científica nos últimos anos. É quase senso comum que discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC) sejam incorporadas nos currículos de ciências. De uma forma geral, a NdC pode ser definida como um arcabouço de saberes sobre as bases ou princípios epistemológicos envolvidos na construção do conhecimento científico. Uma das maneiras de se ensinar NdC é a discussão de episódios da História da Ciência. Nesse trabalho, analisamos em detalhes o desenvolvimento, a repercussão e a aceitação da óptica newtoniana; particularmente, estudamos sua popularização na Europa do início do século XVIII, principalmente na Grã-Bretanha. Neste período ocorreram mudanças sociais e culturais significativas, entre elas, a valorização da Filosofia Natural e seus produtos, o estabelecimento da mecânica e óptica newtonianas e da imagem de Isaac Newton como um representante da genuína filosofia natural. Assim, na época, foram selecionados e incorporados aos tratados de física apenas aspectos de sua óptica que evidenciavam o caráter indutivista e que ao mesmo tempo podiam ser conciliados com sua mecânica. A partir deste estudo histórico, aspectos da NdC podem ser explicitamente discutidos, por exemplo, a questão da inexistência de um método científico universal, a influência do contexto e do prestígio do pesquisador em questão na aceitação ou rejeição de suas idéias, o caráter provisório do conhecimento científico, a importância da maneira como as idéias são apresentadas, entre outras coisas. Este tipo de discussão é relevante para diversos âmbitos da formação de professores, favorecendo a construção de uma imagem adequada da Ciência de um modo geral.

Abstract

Currently, there is a general agreement that Nature of Science (NOS) aspects must be included in science curriculums. The present dissertation analyzes in details the development, the repercussion and the acceptance of Newtonian optics; with particular emphasis on its popularization in early 18th century in Europe, especially in Great Britain. In this period, significant social and cultural changes occurred, among them the valorization of Natural Philosophy and its products, the establishment of Newtonian mechanics, optics and Isaac Newton's image as genuine representative of Natural Philosophy. As consequence, only Newtonian optics aspects that evidenced the inductivism and could be conciliated with his mechanics were incorporated in 18th century natural philosophy books. From this historical study, NOS aspects can be explicitly discussed, for instance, the inexistence of an universal scientific method, the influence of social context and how the prestige of a scientist biases the acceptance of her/his ideas, the temporary character of scientific knowledge, the relevance of how ideas are communicated, among other topics. The present work is important for teacher training courses, since it provides adequate view of Science development.

Sumário

O ponto de partida.....	1
-------------------------	---

CAPÍTULO 1

Natureza da Ciência, História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências: articulações, relações e possibilidades	8
---	----------

1.1. A Natureza da Ciência: o que é e quais são seus pontos de consenso.....	9
1.2. História e Filosofia da Ciência na educação científica.....	15
1.2.1. Os argumentos contrários	15
1.2.2. Os argumentos favoráveis.....	19
1.2.3. A postura adotada	23
1.3. Uma interlocução entre Natureza da Ciência e História e Filosofia da Ciência	24

CAPÍTULO 2

Apresentando o episódio histórico: a recepção do Livro II do <i>Óptica</i> de Isaac Newton no início do século XVIII	27
---	-----------

CAPÍTULO 3

O Livro II do <i>Óptica</i> e outros aspectos da óptica newtoniana.....	35
--	-----------

3.1. Algumas influências sofridas por Newton	37
3.2. Os primeiros estudos	40
3.3. O <i>Óptica</i>	44
3.4. Os Livros I e III	48
3.5. Um estudo do Livro II.....	52
3.5.1. Uma análise geral do conteúdo do Livro II.....	53
3.5.2. Opacidade, transparência e cores dos objetos.....	54
3.5.3. A interação entre a luz e a matéria.....	61
3.5.4. O conceito de estados da luz.....	63
3.5.4.1. O artigo “A hipótese da luz”	64
3.5.4.2. Os estados da luz no <i>Óptica</i>	69
3.5.5. Os problemas no Livro II.....	73
3.5.5.1. O método da “transdução”	73
3.5.5.2. As várias explicações para a refração e reflexão.....	76
3.5.5.3. As origens e natureza dos estados da luz	77
3.6 Algumas considerações sobre a óptica de Newton.....	81

CAPÍTULO 4

A popularização da óptica de Newton	84
--	-----------

4.1. A difusão das idéias newtonianas.....	85
4.2. A difusão da óptica newtoniana pela Europa: o caso de Voltaire e Algarotti	93
4.2.1. O <i>Élemens</i> de Voltaire	94

4.2.2. O <i>Newton per le dame</i> de Algarotti	105
4.3. Comentários sobre a popularização da óptica de Newton.....	116

CAPÍTULO 5

A união de duas vertentes	119
5.1. As idéias de Newton sobre forças entre luz e matéria.....	121
5.2. Mudanças na óptica newtoniana.....	127
5.2.1. A pequenez da luz por Cheyne	128
5.2.2. O <i>Lexicon</i> de Harris	132
5.2.3. As duas forças de Desaguliers	137
5.2.4. O “espaço de atração” de ‘sGravesande	141
5.2.5. O “espaço de atividade” de Smith	148
5.2.6. Rowning e a força de coesão	153
5.2.7. Outras explicações	155
5.3. As limitações da união: o conteúdo do Livro II do <i>Óptica</i>	158
5.3.1. Opacidade, transparência e cores dos corpos.....	159
5.3.2. O conceito de estados da luz.....	165
5.4. As poucas críticas	166
5.5. Um panorama da união.....	168

CAPÍTULO 6

Breves considerações sobre o período seguinte	171
--	-----

CAPÍTULO 7

Incorporando a Natureza da Ciência: o que podemos aprender com esse episódio?	177
7.1. O método científico	178
7.2. A forma de apresentação das idéias científicas	182
7.3. A influência do contexto	183
7.4. A mutabilidade do conhecimento científico.....	187
7.5. O mito dos grandes gênios	188
Referências bibliográficas	192

*Para além da curva da estrada
Talvez haja um poço, e talvez um castelo,
E talvez apenas a continuação da estrada.
Não sei nem pergunto.
Enquanto vou na estrada antes da curva
Só olho para a estrada antes da curva,
Porque não posso ver senão a estrada antes da curva.
De nada me serviria estar olhando para outro lado
E para aquilo que não vejo.
Importemo-nos apenas com o lugar onde estamos.
Há beleza bastante em estar aqui e não noutra parte qualquer.
Se há alguém para além da curva da estrada,
Esses que se preocupem com o que há para além da curva da estrada.
Essa é que é a estrada para eles.
Se nós tivermos que chegar lá, quando lá chegarmos saberemos.
Por ora só sabemos que lá não estamos.
Aqui há só a estrada antes da curva, e antes da curva
Há a estrada sem curva nenhuma.*

Alberto Caeiro [Fernando Pessoa], Poemas inconjuntos

O ponto de partida

A compreensão da Ciência como um empreendimento dinâmico e em constante transformação tem se tornado uma das mais importantes metas da educação científica nos últimos anos, promovendo a criação de diversas propostas, projetos e iniciativas de pesquisadores da área (McCOMAS, et. al. 1998). Essas ações intentam, entre outras coisas, formar um indivíduo apto, por exemplo, a argumentar sobre assuntos que envolvam conceitos científicos e a debater sobre a relação entre os avanços da Ciência e da Tecnologia e a sociedade onde elas se desenvolvem. Nesse sentido, uma das premissas básicas para que alunos e professores de ciências sejam permeados por tais saberes é a incorporação de aspectos da Natureza da Ciência¹ (NdC) em suas formações.

A inclusão e a discussão dos pressupostos da Natureza da Ciência em aulas de ciências e principalmente na formação inicial e continuada de professores de ciências são as protagonistas de diversas pesquisas na área (McCOMAS et. al., 1998; ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000). Um dos meios mais utilizados pelos pesquisadores para incorporar a Natureza da Ciência na educação científica é o levantamento e debate em torno de fatos e aspectos da História e Filosofia das Ciências, compreendidos nos episódios históricos².

Segundo estudos recentes, a incorporação de episódios históricos pode suscitar uma compreensão mais adequada do desenvolvimento, estabelecimento e divulgação do conhecimento científico, bem como sobre suas influências sobre a sociedade, sua aceitação ou rejeição, entre outros pontos (LARANJEIRAS, 1994; MATTHEWS, 1994; VANNUCHI, 1996; IRWIN, 2000; PEDUZZI, 2001; SILVA & MARTINS, 2003, para citar alguns). Entretanto, como esses estudos evidenciam, mais que somente introduzir

¹ Do inglês *Nature of Science* ou simplesmente NOS.

² Por “episódio histórico”, entendemos o curso dos acontecimentos na História e as questões intrínsecas a eles, por exemplo, o contexto da época, aspectos filosóficos, metodológicos, ideológicos e epistemológicos, controvérsias e obstáculos enfrentados pelos cientistas, entre outras coisas.

análises de historiadores e filósofos da ciência, fontes originais ou pequenas anedotas no Ensino de Ciências, é fundamental saber *qual o objetivo* em utilizá-las, ou seja, *o que pretende-se construir* com elas. Além disso, a utilização da História e Filosofia das Ciências exige, sobretudo, preparo; do contrário, interpretações distorcidas dos fatos podem surgir, como a quasi-história – uma reconstrução dos acontecimentos, a fim de adequá-los a uma seqüência lógica – e a pseudohistória – uma versão romantizada e idealizada dos fatos históricos (WHITAKER, 1979a, 1979b; ALLCHIN, 2001).

Portanto, desenvolver uma educação científica que esteja permeada não só pelo conhecimento dos conceitos científicos, mas também de sua construção e relação com o mundo, por meio da discussão de questões históricas e filosóficas, não é uma tarefa simples. Tal iniciativa envolve e requer, principalmente, discernimento e cautela. Neste trabalho, apresentamos uma maneira de entrelaçar Natureza da Ciência e História e Filosofia das Ciências, a fim de oferecer um subsídio para as iniciativas que promovam uma educação científica mais crítica e dinâmica, menos preparatória e pragmática.

Essa dissertação fundamenta-se na análise de episódios históricos da perspectiva da Natureza da Ciência e objetivando sua aplicação na educação científica. Pretendemos, além de afirmar que os episódios históricos são válidos para discutir aspectos da NdC, indicar quais são esses aspectos e por que eles são importantes, destacando sua relevância no âmbito da formação inicial e continuada dos professores. Alguns aspectos que serão tratados ao longo desse trabalho podem ser incorporados em outras instâncias da educação científica, por exemplo, nas aulas de ciências (Física, Química, Biologia e Matemática) no ensino médio. Entretanto, preferimos enfatizar nosso discurso somente na formação de professores.

O episódio histórico que fundamenta esse trabalho abrange o conteúdo do Livro II do *Óptica* de Isaac Newton (1643-1727) e sua repercussão na Grã-Bretanha e parte da

Europa do início do século XVIII. Por uma rápida leitura, ele pode soar demasiado complexo para discutir aspectos da Natureza da Ciência, mesmo em cursos de formação de professores. No entanto, nossa análise indicará que esse episódio representa uma importante e pouco conhecida jornada em busca de um entendimento mais amplo sobre a luz e as cores e que permite a discussão de vários aspectos da NdC em um nível acessível à formação física do público alvo.

As incursões de Newton na óptica mais mencionadas por fontes educacionais, científicas e históricas são os experimentos com prismas, a idéia da luz branca do Sol sendo uma mistura heterogênea de raios coloridos e seu famoso telescópio refletor, que constituem a essência do Livro I do *Óptica*. Frequentemente, esses conteúdos são mencionados a fim de corroborar uma visão empirista da ciência newtoniana.

Contudo, sua óptica compreende o estudo de muitos outros fenômenos ópticos, o estabelecimento de diversas idéias importantes – e por vezes, controversas – e a utilização de metodologias que ele não defendia abertamente em seus trabalhos. Tais aspectos ficam claros na análise do conteúdo do Livro II do *Óptica*.

O *Óptica*, publicado pela primeira vez em 1704, contém um amplo estudo dos mais variados fenômenos ópticos conhecidos e estudados no início do século XVIII. Por meio de uma linguagem simples e sem o uso de argumentos matemáticos muito complexos, Newton apresentou suas diversas idéias imbuídas de uma ideologia indutivista e de uma implícita crença na materialidade da luz. Dos experimentos com prismas até as famosas “Questões”, o *Óptica* continua sendo uma obra importante até os dias de hoje.

Ocupando boa parte do *Óptica*, o Livro II contém considerações de Newton sobre os seguintes assuntos: a formação de anéis coloridos em películas finas de ar e em bolhas de sabão – conhecidos atualmente por “anéis de Newton” –; a opacidade, transparência

e cores dos objetos; a refração e a reflexão total; a interação entre a luz e os corpos por meio de uma força; a refração e reflexão alternadas; a teoria dos estados de fácil transmissão e fácil reflexão. Adotando uma argumentação complexa, Newton construiu um conjunto de explicações que evidencia diversas peculiaridades em sua óptica que não são comumente conhecidas e discutidas. Se confrontadas com a visão indutivista de sua ciência, geralmente difundida acriticamente, essas peculiaridades ilustram que as metodologias newtonianas são bem mais complexas que parecem a uma primeira leitura de sua obra.

Por sua vez, o estudo da repercussão desses aspectos da óptica newtoniana presentes no Livro II entre os filósofos naturais³ da Grã-Bretanha e parte da Europa entre 1704 até a década de 1750 ilustra muitas facetas que são consenso por parte dos pesquisadores na área e que podem ser incorporados no Ensino de Ciências, sobretudo em cursos de formação de professores.

Na presente dissertação, analisamos detalhadamente o conteúdo do Livro II do *Óptica*, trabalhos anteriores que deram origem a ele, obras de outros autores do período e outras fontes secundárias, a fim de compreender como se deu o processo de popularização e aperfeiçoamento da óptica newtoniana no início do século XVIII. Utilizamos análises metodológicas que consideram do ponto de vista da época, os métodos e a argumentação utilizados e a coerência interna dos resultados atingidos. Além disso, adotamos uma abordagem sociológica que investiga principalmente as influências dos contextos sociais, culturais e educacionais nessa questão.

Ressaltamos que este trabalho não é somente um estudo em História e Filosofia das Ciências. O episódio histórico constitui a base deste trabalho, mas não se restringe a

³ O termo “Filosofia Natural” era utilizado nos séculos XVII e XVIII para designar uma forma de investigar a natureza, que é próxima – mas não igual – ao que denominamos atualmente por “Ciência”. Conseqüentemente, aqueles que estudavam os fenômenos naturais eram chamados de “filósofos naturais”. Ver Alfonso-Goldfarb (1994).

isso. No entanto, para que possamos destacar e discutir aspectos da Natureza da Ciência envolvidos em um episódio histórico– e não meramente apontá-los de forma simplificada – é necessário partir de uma análise histórica detalhada e bem fundamentada. A partir disso, ficaram claras questões como o debate em torno da existência de um método científico universal, a crítica às idealizações da vida e obra dos cientistas, a influência de fatores externos na aceitação ou rejeição de teorias científicas, as modificações que essas teorias podem sofrer ao longo dos anos, entre outros. Ao final, os compilamos em uma ampla discussão sobre como eles podem ser aplicados em cursos de formação inicial e continuada dos professores de ciências.

A presente dissertação está organizada da seguinte maneira: no **Capítulo 1** (Natureza da Ciência, História e Filosofia das Ciências e Ensino de Ciências: articulações, relações e possibilidades) discutimos algumas das relações entre essas três áreas, abordando como elas podem interagir a fim de fomentar uma educação científica de acordo com os propósitos atuais. No **Capítulo 2** (Apresentando o episódio histórico), tratamos de uma forma geral a recepção do Livro II do *Óptica* de Newton no início do século, justificando a escolha desse episódio, analisando os fenômenos físicos que serão tratados ao longo de nossa análise e classificando as diversas teorias sobre luz e cores vigentes. Nos capítulos posteriores, iniciaremos o estudo minucioso desse episódio histórico, apontando ao longo da análise os aspectos da NdC ali evidentes.

No **Capítulo 3** (O Livro II do *Óptica* e alguns outros aspectos da óptica newtoniana), analisaremos alguns trabalhos de Newton sobre a luz e as cores e o conteúdo do *Óptica*, especialmente o Livro II, ponderando sobre as posturas metodológicas adotadas por ele e as dificuldades e problemas enfrentados. No **Capítulo 4** (A popularização da óptica de Newton), falaremos sobre alguns dos fatores que contribuíram para que a óptica newtoniana fosse amplamente divulgada e aceita,

principalmente na Grã-Bretanha. No **Capítulo 5** (A união de duas vertentes), indicaremos que, ao mesmo tempo em era propagada, a óptica newtoniana passava por um processo de transformação e aperfeiçoamento, baseado na união entre duas vertentes da ciência de Newton, a óptica e a mecânica. No **Capítulo 6** (Breves considerações sobre o período posterior), discutiremos sucintamente como esses fatos envolvendo a óptica newtoniana ecoaram na segunda metade do século XVIII.

Finalmente, no **Capítulo 7** (Incorporando a Natureza da Ciência: o que podemos aprender com esse episódio?), reuniremos os aspectos da Natureza da Ciência indicados ao longo do estudo histórico, formando uma gama de informações e recomendações para aplicação deles em diversas instâncias da formação de professores de ciências.

Claramente, não pretendemos com o presente trabalho construir a solução definitiva para a incorporação da Natureza da Ciência ou da História e Filosofia das Ciências na educação científica. Procuramos olhar somente para a estrada a nossa frente. A partir disso, buscamos agregar elementos e estratégias para que parte da solução seja desenvolvida em trabalhos posteriores do nosso grupo de pesquisa.

1

**Natureza da Ciência, História e
Filosofia da Ciência e Ensino de
Ciências: articulações, relações
e possibilidades**

Natureza, história, filosofia e ensino. Todas essas palavras que formam o título desse capítulo vêm acompanhadas do termo “Ciência”, em sua forma singular ou plural. Em um primeiro momento, a relação entre elas parece simples, afinal, respeitando suas particularidades, elas se referem em sua essência à mesma coisa, à Ciência. Entretanto, essa afinidade não é trivial.

Neste capítulo, discutiremos inicialmente alguns aspectos dessas três áreas referentes à Ciência e, ao final, como elas se articulam, especialmente no que concerne à formação inicial e continuada de professores de ciências. Notaremos que, apesar da relação entre elas ser complexa, é possível concebê-la de forma harmoniosa. A análise presente nesse capítulo será o norte do estudo histórico sobre a óptica newtoniana realizado nos capítulos seguintes.

1.1. A Natureza da Ciência: o que é e quais são seus pontos de consenso

A Natureza da Ciência se tornou nas últimas três décadas um tema central de inúmeras pesquisas de historiadores, filósofos e epistemólogos da ciência e educadores em diversas áreas de concentração. Mas, enfim, o que é Natureza da Ciência?

O propósito de envolver as aulas de ciências não apenas com o ensino e aprendizagem de conceitos científicos, mas também com um entendimento sobre a natureza desses conceitos, está presente ao menos desde o início do século XX. Matthews (1994) salienta que, apesar dessas iniciativas ainda serem significativamente diferentes das atuais, elas são indicativas de que a idéia de uma educação científica menos metódica e mais reflexiva não é nova. Esse objetivo adquiriu maior solidez, sendo representado pelas palavras “Natureza da Ciência”, com as propostas de

reestruturação da educação científica⁴ nos Estados Unidos, Europa e em alguns outros países – como o Brasil – e o desenvolvimento de novos projetos curriculares, como o *Project Physics Course* da Universidade de Harvard, conhecido como Projeto Harvard.

Lederman (2007) afirma, de forma geral, que a NdC pode ser definida como um arcabouço de saberes sobre as bases ou princípios epistemológicos envolvidos na construção do conhecimento científico que incorporam, entre outras coisas, as crenças e valores intrínsecos ao “fazer Ciência”. Sendo assim, a Natureza da Ciência compreende questões sobre a existência de um método científico, as influências de contextos sociais, culturais, religiosos, políticos, entre outros no desenvolvimento, aceitação ou rejeição de idéias científicas, o papel da imaginação na elaboração de teorias e hipóteses, os erros e acertos cometidos pelos cientistas ao longo de suas atividades e muitos outros.

Entretanto, nem todas as pesquisas, propostas e projetos que têm a NdC como ponto central convergem no que se refere à quais pressupostos são válidos e quais não são (ALTERS, 1997). Parte concorda e utiliza alguns deles, enquanto algumas os renegam e adotam outros. Eflin e colaboradores (1999) listam quatro áreas consensuais e duas áreas não consensuais sobre a NdC. Segundo eles, os seguintes princípios são aceitos como apropriados para descrever a NdC:

- O principal objetivo da Ciência é adquirir conhecimento do mundo natural;
- Há uma ordem implícita no mundo que a Ciência procura descrever da maneira mais simples e compreensível;
- A Ciência é dinâmica, mutável e experimental;
- Não há nenhum método científico único.

⁴ Por exemplo, as desenvolvidas pela *American Association for the Advancement of Science*, pelo *National Science Teachers Association*, pelo *National Research Council* e pelo *Ministério da Educação* do Brasil, por meio dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Outras propostas podem ser conferidas em Matthews (1994) e McComas (1998).

Na opinião dos autores, esses pressupostos são extensivamente utilizados para discutir Natureza da Ciência e não existe grande dúvida sobre suas validades (EFLIN et. al., 1999, pp. 108-09). Por outro lado, há dois princípios que não são consenso por parte dos pesquisadores, principalmente entre os filósofos da ciência. O primeiro deles foi descrito assim:

- A geração do conhecimento científico depende de compromissos teóricos e fatores sociais e culturais.

Segundo os autores, esse princípio implica que há um acordo sobre o fato de que as crenças dos cientistas e os contextos nos quais eles estão imersos influenciam em sua atividade e, portanto, na Ciência. No entanto, não há grande concordância sobre a origem e a força desses fatores. Enquanto alguns afirmam que o conhecimento científico está totalmente relacionado com as posturas e ideologias da época em que foi construído, outros alegam que a Ciência é livre e não sofre influências desse tipo.

Outro alvo de desacordos entre filósofos principalmente é o seguinte pressuposto:

- A verdade das teorias científicas é determinada por características do mundo que existem independentemente do cientista.

Sobre essa questão, há várias opiniões diferentes, desde a idéia de que o cientista estuda um mundo do qual faz parte e não é possível estar dissociado dele, até a concepção de que a visão sobre a natureza é fruto de características cognitivas, teóricas e sociais dos cientistas (EFLIN et. al., 1999, pp. 109-10).

Há diversos outros pontos de concordância e discordância em relação aos pressupostos da NdC. Pumfrey (1991) expõe mais alguns tópicos que representariam, segundo o autor, aspectos aceitos sobre a Natureza da Ciência:

- Observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente;

- A Natureza não produz evidências simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua;
- As teorias científicas não são induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações;
- As teorias científicas não podem ser provadas;
- O conhecimento científico não é estático e convergente, mas mutável e ilimitado;
- Treinamento compartilhado é um componente essencial do acordo entre os cientistas;
- O raciocínio científico não se estabelece sem apelar para fontes sociais, morais, espirituais e culturais;
- Os cientistas não desenvolvem deduções incontestáveis, mas fazem complexos julgamentos de especialistas;
- O desacordo sempre é possível.

(PUMFREY, 1991, p. 69)

McComas et. al. (1998), por sua vez, descreve alguns outros aspectos sobre a Natureza da Ciência extraídos de oito documentos internacionais contendo direções para os currículos de Ensino de Ciências que, segundo o texto, são visões de consenso:

- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter provisório;
- O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo;
- Não existe uma única maneira de se fazer Ciência (portanto, não existe um método científico universal);
- A Ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais;
- Leis e teorias desempenham diferentes papéis na Ciência, portanto os estudantes devem notar que as teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais;

- Pessoas de todas as culturas contribuem para a Ciência;
- O novo conhecimento deve ser informado clara e abertamente;
- Os cientistas necessitam da preservação registros precisos, revisão e replicabilidade;
- As observações são dependentes da teoria;
- Os cientistas são criativos;
- A História da Ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário;
- A Ciência é parte de tradições culturais e sociais;
- A Ciência e a Tecnologia se influenciam;
- As idéias científicas são afetadas pelo ambiente histórico e social.

(McCOMAS et. al., 1998, p. 513)

Gil-Pérez e colaboradores (1991) também colocam alguns pressupostos básicos sobre a Ciência e sua natureza que deveriam estar presentes no Ensino de Ciências:

- A recusa da idéia de “Método Científico”, como um conjunto de regras perfeitamente definidas a aplicar de uma forma mecânica e independentemente do domínio investigado;
- A recusa de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultados da inferência indutiva a partir de “dados puros”;
- O destaque ao papel atribuído pela investigação ao pensamento divergente, que se concretiza em aspectos fundamentais e erradamente relegados para concepções empírico-indutivas, como são a colocação de hipóteses e de modelos ou a própria concepção de experiências;
- A procura de uma coerência global; é preciso duvidar sistematicamente dos resultados obtidos e de todo o processo seguido para obtê-los, o que conduz a revisões contínuas na tentativa de obter esses mesmos resultados por diferentes

caminhos e, muito particularmente, para mostrar coerência com os resultados obtidos noutras situações;

- A compreensão do caráter social do desenvolvimento científico.

(GIL-PÉREZ et. al., 2001, pp. 136-137)

Segundo Abd-El-Khalick (2005), há alguns aspectos da Natureza da Ciência que podem ser considerados gerais, estando, por conseguinte, livres de polémicas. A Ciência seria, entre outras coisas:

- Tentativa (sujeita a mudanças);
- Empírica (baseada e/ou derivada das observações do mundo natural);
- Parcialmente o produto da inferência, imaginação e criatividade humanas (o que envolve a invenção de conceitos e explicações);
- Imersa em contextos sociais e culturais.

(ABD-EL-KHALICK, 2005, p. 17)

Como vemos, há na literatura inúmeros pressupostos para a Natureza da Ciência, alguns notadamente distintos, outros muito semelhantes. Por esses últimos, podemos concluir que há diversos aspectos sobre a NdC que podem ser considerados consensuais entre os pesquisadores da área e escritos de maneira geral, minimizando possíveis controvérsias. No Capítulo 2, discutiremos como a análise histórica sobre o Livro II e sua recepção no início do século XVIII pode evidenciar alguns desses aspectos da Natureza da Ciência.

1.2. História e Filosofia da Ciência na educação científica

A necessidade da incorporação da História e Filosofia da Ciência na educação científica é pouco questionada atualmente. Isso se reflete na presença de diversas recomendações para sua utilização em diversos documentos oficiais nacionais e internacionais para a educação científica (PAGLIARINI, 2007). Assim como para a Natureza da Ciência, nos últimos quarenta ou cinquenta anos, as conclusões da comunidade acadêmica têm convergido para uma uniformidade, a qual dita que a discussão de questões históricas e filosóficas referentes à Ciência é importante para que alunos e professores compreendam e reflitam sobre a construção do conhecimento científico (MATTHEWS, 1994).

No entanto, até que essa conformidade de opiniões fosse alcançada, um longo caminho de argumentos e controvérsias foi percorrido. Apresentaremos brevemente alguns posicionamentos contra e a favor do uso da História e Filosofia da Ciência no ensino e, em seguida, nossa opinião em relação a eles.

1.2.1. Os argumentos contrários

Os argumentos contrários à utilização da História e Filosofia da Ciência em diversas instâncias do ensino colecionam razões de todos os tipos. Abordaremos algumas delas nessa seção.

Na década de 1960, Thomas S. Kuhn apresentou alguns argumentos sobre a utilização da História da Ciência no ensino em seu famoso *A estrutura das revoluções científicas*, publicado pela primeira vez em 1962. No caso dos manuais científicos, por

exemplo, para “preencherem a sua função” de formar o cientista dentro do paradigma vigente, não seria preciso discutir como a Ciência foi construída, pois existiriam “até mesmo boas razões para que [os manuais] sejam sistematicamente enganados nesses assuntos”. (KUHN, 2006, p. 176). Dessa forma, nessa visão, para que o estudante seja imerso nos paradigmas da “ciência normal”, ele deveria estar à parte de conteúdos históricos, do contrário, isso poderia desestabilizar sua confiança nos padrões aceitos como válidos. Em outro trabalho do mesmo período, essa questão foi novamente levantada. Segundo Kuhn, o contato do estudante com estudos históricos poderia fazer com que ele descobrisse

outras maneiras de tratar os problemas discutidos em seus livros-texto, mas [...] ele também encontraria problemas, conceitos e critérios de solução que sua futura profissão há muito haveria descartado e substituído. (KUHN, 1963, p. 344)

Isso prejudicaria os passos do jovem cientista por entre os modelos e regras que regeriam a Ciência de seu tempo. Sendo assim, para que o trabalho científico dentro da “ciência normal” seja bem sucedido, sua educação deveria ser “uma iniciação a uma tradição inequívoca” (KUHN, 1963, p. 352).

Seguindo uma linha de pensamento semelhante, o historiador da ciência Stephen Brush publicou em 1974 um de seus mais conhecidos e polêmicos trabalhos: “Should the History of Science be rated X?”(BRUSH, 1974). Entre seus argumentos contra a História da Ciência no ensino, aquele que mais se destaca aponta que a discussão de episódios históricos poderia demolir a aclamada objetividade do conhecimento científico. Sendo assim, segundo ele, “o professor que quer doutrinar seus estudantes no papel tradicional do cientista como um descobridor de fatos não deveria utilizar

materiais históricos, como os que estão sendo preparados pelos historiadores da ciência” (Ibid., p. 1170).

A forma de utilização de conteúdos históricos também foi alvo de críticas. Um dos argumentos se baseava no pressuposto de que os professores de ciências, ao selecionarem e utilizarem estudos históricos, o faziam a fim de cumprir determinados propósitos pedagógicos ou científicos que resultariam – voluntariamente ou involuntariamente – em uma História da Ciência simplificada, uma distorção dos fatos históricos. Portanto, seria

quase inevitável a má história, no sentido de que o estudante não tem idéia dos problemas que realmente preocuparam os cientistas, os contextos dentro dos quais eles trabalhavam, ou os argumentos que convenceram ou não convenceram seus contemporâneos ao aceitarem novas idéias. (KLEIN, 1972⁵ apud MATTHEWS, 1994, p. 72)

A “má história” poderia se configurar de várias formas. Uma delas tornou-se amplamente conhecida como *história da ciência Whig*. Esse termo foi cunhado em 1931 por Herbert Butterfield em sua obra *The whig interpretation of history*. O “whiggismo” aprecia apenas as idéias do passado que se adéquam aos modelos presentes ou que têm alguma relação com eles, desconsiderando e menosprezando a importância daquelas que não são mais aceitas. Sendo assim,

um astrônomo sem visão histórica que se volte para um texto astrológico medieval será levado a tentar separar a ‘boa ciência’ das ‘superstições’ lá contidas, adotando como critério a visão atual da ciência astronômica. (MARTINS, 2001, p. 15)

⁵ KLEIN, Martin. Use and abuse of historical teaching in Physics. In: BRUSH, Stephen G.; KING, Allen L. (eds.). **History in the teaching of Physics**. Hanover: University Press of New England, 1972.

Uma das conseqüências dessa abordagem é o reforço à concepção de na Ciência sempre há “vencedores” e “perdedores”, sendo que em alguns casos esses primeiros podem ser tomados como “pais” de determinadas teorias.

Os trabalhos de Whitaker (1979a, 1979b) apresentam outra possível visão distorcida dos fatos históricos, a qual o autor chamou de *quasi-história*. Essa forma de descrever a História da Ciência baseia-se numa reconstrução dos fatos históricos, a fim de posicionar os acontecimentos do passado numa cronologia lógica até o presente.

Whitaker discutiu um exemplo de quase-história bastante conhecido e divulgado: o caso do desenvolvimento da lei de Planck. Muitos materiais voltados principalmente ao ensino de Física apregoam que sua idéia de energia quantizada foi conseqüência da falha da teoria desenvolvida por Rayleigh e Jeans para tratar a radiação de corpo negro. Ou seja, tem-se deste modo uma seqüência linear e simples dos fatos. Rayleigh e Jeans erram e Planck aparece para consertar o equívoco. No entanto, diversos estudos históricos apontam que o desenrolar dos acontecimentos foi complexo e que provavelmente as idéias de Rayleigh e Jeans tiveram pouco impacto sobre Planck (WHITAKER, 1979a, p. 109).

Outra forma inadequada da utilização da História da Ciência foi discutida recentemente por Douglas Allchin, a *pseudo-história*. Segundo ele, os relatos pseudo-históricos apresentam uma versão romantizada e idealizada dos cientistas e de seus feitos. Nessa variante, a Ciência seria obra apenas de gênios, não restando lugar para pessoas comuns. A história é concentrada no produto – sucesso das teorias, prestígio alcançado pelos cientistas etc. – e não no processo – erros cometidos, disputas ocorridas, falhas conceituais das teorias, dificuldades teóricas e experimentais, influência do contexto etc (ALLCHIN, 2004).

Um outro aspecto problemático residiria nas diferentes posturas, visões de mundo e opiniões entre historiadores e cientistas. No caso particular da Física,

Uma razão pela qual é difícil fazer a História da Física servir às necessidades do Ensino de Física é a diferença essencial nos pontos de vista do físico e do historiador... é tão difícil imaginar a combinação entre a rica complexidade dos fatos, pela qual o historiador se esforça em obter, com a idéia precisamente definida que o físico procura. (KLEIN, 1972⁶ apud MATTHEWS, 1994, p. 72)

Dessa forma, seria imensamente complicado evitar todos esses problemas na utilização da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências, em geral. Por um lado, há o impasse da desmotivação que futuros cientistas podem sentir ao entrar em contato com estudos históricos. Por outro, há o impasse das interpretações inadequadas dos fatos da história quando da introdução desses no ensino. Mesmo que se queira incorporá-los, distorções acontecerão e elas resultarão em visões inadequadas da Ciência.

A partir disso e a fim de contrabalancear os problemas, entram então os argumentos favoráveis à utilização da História e Filosofia da Ciência no ensino, abordados na seção a seguir.

1.2.2. Os argumentos favoráveis

Apesar das opiniões contra o uso da História e Filosofia da Ciência na educação científica parecerem satisfatórias à primeira vista, alguns autores afirmam que há problemas nelas. Harvey Siegel, por exemplo, ao comentar sobre as declarações de Kuhn, escreveu que esperar que o futuro cientista veja-se perdido no paradigma vigente ao estudar a história da ciência era “uma visão pessimista das habilidades críticas dos

⁶ Ver nota anterior.

estudantes” (SIEGEL, 1979, p. 113). Além disso, segundo ele, há aspectos morais envolvidos ao negligenciar esse contato com o desenvolvimento histórico dos conceitos científicos:

Os estudantes não são objetos que nós, enquanto educadores em ciência, podemos moldar como queremos – eles são pessoas, e merecem o respeito de suas personalidades que queremos para nós mesmos. (SIEGEL, 1979, p. 113)

Matthews (1994) fala que a questão das simplificações da história – que poderiam resultar na história Whig, na pseudo-história ou na quasi-história – não é necessariamente um obstáculo. A simplificação é permitida, desde que ela não seja uma “caricatura do processo histórico”, respeitando os propósitos pedagógicos assumidos e possibilitando uma compreensão mais clara da natureza do conhecimento científico (MATTHEWS, 1994, p. 80).

Além disso, o caso das diferentes interpretações entre cientistas e historiadores, segundo ele, deve ser considerado educacionalmente proveitoso. Afinal, é comumente aceito que um bom currículo escolar é aquele que motiva os estudantes a lidar com os problemas de diversas perspectivas (Ibid., p. 77).

Tais pontos fomentam a percepção de que há também razões favoráveis à inclusão da História e Filosofia da Ciência no decorrer da educação científica. Matthews (1994, pp. 49-50), expõe algumas delas:

- A História promove uma melhor compreensão dos conceitos e métodos científicos;
- Abordagens históricas relacionam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das idéias científicas;
- A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes na história da ciência e da cultura – a Revolução Científica, darwinismo, a

descoberta da penicilina, entre outras coisas – deveriam ser familiares a todos os estudantes;

- A história é necessária para compreender a natureza da ciência;
- A história contrapõe o cientificismo e o dogmatismo que são comumente encontrados em textos científicos e aulas de ciências;
- A história, pela análise da vida e da época dos cientistas, humaniza os assuntos da ciência, fazendo-os menos abstratos e mais interessante para os estudantes;
- A história permite que sejam feitas relações entre tópicos e disciplinas da ciência, assim como com outras disciplinas acadêmicas; a história fornece a natureza integradora e independente das conquistas humanas.

Por sua vez, Peduzzi (2001) afirma que do mesmo modo que rejeitar a História e a Filosofia da Ciência, “superdimensionar” sua utilização é indesejável. Definitivamente, ela não deve servir como panacéia para os problemas do Ensino de Ciências. Entretanto, incorporá-la com cautela, por meio de bons recursos, pode contribuir de diversas maneiras, tais como:

- Incrementar a cultura geral do aluno, admitindo-se, neste caso, que há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico (como a revolução científica dos séculos XVI e XVII, por exemplo);
- Desmistificar o método científico, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;
- Mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são “definitivas e irrevogáveis”, mas objeto de constante revisão;
- Chamar a atenção para o papel de idéias metafísicas (e teológicas) no desenvolvimento de teorias científicas mais antigas;
- Contribuir para um melhor entendimento das relações da ciência com a tecnologia, a cultura e a sociedade. (PEDUZZI, 2001, pp. 157-58)

Segundo Martins (1990), a História da Ciência pode contribuir enormemente em diversos âmbitos do ensino universitário, desde que isso ocorra por meio de materiais adequados e por professores preparados para tal. No caso particular da formação de professores de ciências, a discussão de episódios históricos pode facilitar a compreensão da Ciência como uma construção humana, que está sujeita a erros e acertos. Sendo assim,

Sem a História, não se pode também conhecer e ensinar a base, a fundamentação da Ciência, que é constituída por certos fatos e argumentos efetivamente observados, propostos e discutidos em certas épocas. Ensinar um resultado sem sua fundamentação é simplesmente **doutrinar** e não ensinar ciência. (MARTINS, 1990, p. 4, grifo do autor)

Silva & Martins (2003) argumentam que a História da Ciência pode oferecer recursos suficientes para a aprendizagem do conhecimento científico, indo além de uma aprendizagem apenas da crença científica. Para os autores, a crença é aceitação dos saberes da Ciência como uma verdade absoluta, geralmente baseada na autoridade do professor ou do cientista. O debate em torno de episódios históricos possibilitaria um entendimento mais claro de como o conhecimento científico foi construído e justificado, proporcionando aos estudantes o direito de discutir sobre esses processos (SILVA & MARTINS, 2003, p. 55).

Os argumentos citados acima são apenas alguns entre a grande variedade de razões para que a História e Filosofia da Ciência sejam incorporadas nos currículos de ciências. De forma geral, podemos dizer que há um sentimento de que a inclusão de conteúdos de história e filosofia no Ensino de Ciências é muito importante, tanto para a formação daqueles que não seguirão carreiras científicas quanto para aqueles que pretendem ser físicos, químicos, biólogos, geólogos etc. ou professores nessas áreas.

1.2.3. A postura adotada

A partir dos argumentos favoráveis e contrários analisados na seção anterior, acreditamos que as razões em prol são mais contundentes. Essa postura baseia-se na constatação de que, aparentemente, o problema vital não é se a História e Filosofia da Ciência são importantes no ensino, mas como elas podem ser incorporadas sem distorções e simplificações exageradas.

Discutir sobre fatos históricos de diversas perspectivas – sociais, culturais, filosóficos, epistemológicos, metodológicos, entre outros – requer estudo, dedicação e, principalmente, senso crítico. Sendo assim, trabalhar com História e Filosofia da Ciência não é trivial, pois se trata de uma área com suas próprias metodologias, complexidades e dificuldades, constituindo-se como uma área de estudos iguais a tantas outras (MARTINS, 2006, p. xxiii).

Claramente, é inconcebível que a História e Filosofia da Ciência substituam completamente o ensino dos conceitos científicos nas aulas de ciências. Afinal, a intenção primordial da educação científica é ensinar os conceitos da Ciência. No entanto, conteúdos históricos podem integrar e contribuir para que esse ensino seja melhor e de acordo com os propósitos atuais de uma educação mais reflexiva, crítica e dinâmica. O conhecimento adequado e bem estruturado de um único episódio histórico por parte dos professores pode ser suficiente para evitar distorções e aproveitar suficientemente o que a História e Filosofia da Ciência podem oferecer à educação científica (ALLCHIN, 2004, p. 192).

Com base nessa discussão, pode-se dizer que incorporar estudos históricos aleatoriamente na educação científica não é suficiente. Não basta uma quantidade

significante de história ou filosofia, é necessário que se dê algum norte a elas (RUSSELL, 1981, p. 56).

O norte que propomos para a História e a Filosofia da Ciência constitui-se na sua utilização como um meio de discutir aspectos da Natureza da Ciência. Claramente, nem todo estudo histórico é um subsídio automático para a discussão da NdC no ensino. Entretanto, acreditamos que seja possível construir uma articulação entre essas duas áreas, de forma a alcançar uma educação científica abrangente e integradora e, por outro, empregar os conteúdos históricos de forma adequada, sem correr o risco de afundá-los em interpretações desvirtuadas.

1.3. Uma interlocução entre Natureza da Ciência e História e Filosofia da Ciência

Pela leitura das duas últimas seções, é fácil notar que muitos pressupostos da Natureza da Ciência são semelhantes às vantagens da incorporação da História e Filosofia da Ciência na educação científica. Sendo assim, podemos dizer que um dos caminhos para que discussões sobre a natureza do conhecimento científico sejam incentivadas e incluídas em cursos de formação de professores é a análise de aspectos históricos e filosóficos da ciência.

Nos últimos anos, diversas pesquisas foram realizadas utilizando a História e Filosofia da Ciência com o intuito de elevar o entendimento de alunos e professores sobre a dinâmica da construção do conhecimento científico⁷. No entanto, deve ser notado que, apesar da estreita relação entre HFC e NdC, elas não são a mesma coisa

⁷ Ver, por exemplo, Castro (1993), Matthews (1994), Laranjeiras (1994), Vannucchi (1997), Irwin (2000), Peduzzi (2001), Silva & Martins (2003), Adb-El-Khalick (2005), Barcellos (2008) e Silva & Moura (2008).

(McCOMAS, 2008, p. 249). No caso específico da formação de professores – para a qual este trabalho se destina –, estudos indicam que cursos de História e Filosofia da Ciência pouco influenciam em suas visões sobre a Natureza da Ciência (ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000).

De forma geral, esses estudos apontam que o entrave e a solução para essa pouca influência residem no mesmo lugar: a forma como os aspectos da Natureza da Ciência são tratados a partir dos episódios históricos. Pesquisadores apontam que os aspectos da NdC imersos em fatos históricos devem ser discutidos **explicitamente** com os professores (ADB-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000, p. 1088). Mesmo assim, tal atitude não é garantia de que a NdC estará presente em suas aulas.

Há uma suposição comum presente em várias pesquisas de que a instrução do professores sobre a Natureza da Ciência assegurará que ela se refletirá em sua prática docente. Entretanto, notou-se que essa relação não é direta, pois diversos fatores a influenciam, tais como a pressão para cobrir todo o conteúdo das aulas, motivação dos estudantes, obstáculos institucionais e experiência docente (LEDERMAN, 1992). Claramente, o entendimento da Natureza da Ciência é importante nos cursos de formação de professores de ciências. Contudo, uma mudança de cultura faz-se necessária, a fim de ela seja incorporada também de forma explícita em suas aulas (ABD-EL-KHALICK et. al., 1998, p. 432; McCOMAS, 2008, p. 261).

Dessa forma, a interlocução que o presente trabalho propõe fundamenta-se numa abordagem **explícita** de aspectos da NdC a partir do estudo de um episódio histórico. A partir disso, será possível pensar em novas iniciativas para a formação inicial e continuada de professores, fazendo com que a História e Filosofia da Ciência, integrada com a Natureza da Ciência, influenciem efetivamente na formação de professores aptos

a compreender certos aspectos da construção do conhecimento científico e incorporá-los de forma adequada e objetiva em suas aulas.

Para que essa interlocução seja realizada adequadamente, é fundamental um estudo histórico detalhado do episódio escolhido, a fim de evitar visões distorcidas, como a história Whig, a pseudo-história ou a quasi-história. Além disso, também é necessário que se delimite quais aspectos da Natureza da Ciência serão explorados com o estudo. Pelo fato de um acontecimento histórico oferecer diversas perspectivas de análise, um recorte é um passo básico. Como dissemos acima, optamos por tratar alguns pontos gerais da Natureza da Ciência, que podem ser considerados consensuais entre os pesquisadores da área.

2

**Apresentando o episódio histórico: a
recepção do Livro II do *Óptica*
de Isaac Newton no início
do século XVIII**

O episódio histórico analisado nessa dissertação abrange o conteúdo do Livro II do *Óptica* de Isaac Newton e sua recepção nas primeiras décadas do século XVIII. Uma das razões para a escolha desse episódio foi o fato de ele envolver um personagem muito importante da História da Ciência, que normalmente é retratado de forma superficial e até mesmo caricatural. Do ponto de vista dos conteúdos científicos, a óptica newtoniana é abordada apenas com breves menções à teoria das cores. O período selecionado é bastante rico, pois o fazer científico passou por grandes transformações com a institucionalização da Ciência e a separação de disciplinas que conhecemos hoje. Por estas razões, este episódio permite a discussão de vários aspectos da NdC em um nível acessível a estudantes de graduação em Física ou em outras áreas científicas, tanto de licenciatura quanto de bacharelado.

No caso particular da óptica de Newton, há bons trabalhos históricos cobrindo principalmente seus experimentos com prismas, sua idéia de que a luz branca do Sol seria uma mistura heterogênea de raios coloridos e seu telescópio refletor (WESTFALL, 1962; SABRA, 1981; GUERLAC, 1983; HALL, 1993; SILVA, 1996; SILVA & MARTINS, 1996; SHAPIRO, 2002; SCHAFFER, 2002, entre muitos outros). Alguns trabalhos focam especificamente na discussão sobre esses estudos de Newton no ensino de ciências (SILVA & MARTINS, 2003; MARTINS & SILVA, 2001). Essas partes da óptica newtoniana cobertas por esses estudos correspondem, essencialmente, às suas *Lições de óptica*, ao seu artigo “Nova teoria sobre luz e cores” e ao conteúdo do Livro I do *Óptica*⁸.

Por sua vez, tem havido um crescente interesse de historiadores da ciência e outros pesquisadores em partes pouco exploradas da óptica newtoniana (BUCHWALD & COHEN, 2001). Entre elas, inclui-se o conteúdo do Livro II do *Óptica*.

⁸ Essas partes da óptica newtoniana serão discutidas brevemente no capítulo 3.

No Livro II, Newton tratou principalmente do fenômeno dos anéis coloridos em películas finas. O aparecimento desses anéis – conhecidos como “anéis de Newton – é muito comum em nosso cotidiano, mas poucas pessoas sabem explicar porque eles ocorrem. Os anéis de cores em manchas de óleo ou bolhas de sabão – como pode ser visto na figura 2.1 – são alguns exemplos de sua ocorrência no cotidiano.



Figura 2.1 – Os “anéis de Newton” em bolhas de sabão

No século XVII, os filósofos naturais – incluindo Newton – estudavam esse fenômeno por meio de lentes pressionadas uma contra a outra ou contra uma placa de vidro. A pequena película de ar formada entre as lentes ocasionava o aparecimento dos anéis. Se o sistema fosse iluminado com luz branca, os anéis formados seriam coloridos (figura 2.2); com luz monocromática, os anéis seriam alternadamente claros – da cor do feixe – e escuros (figura 2.3).

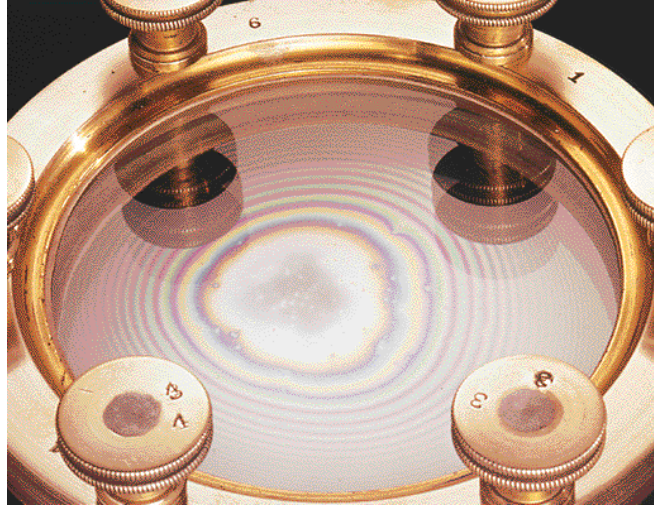


Figura 2.2 – “Anéis de Newton” formados pela incidência de luz branca.

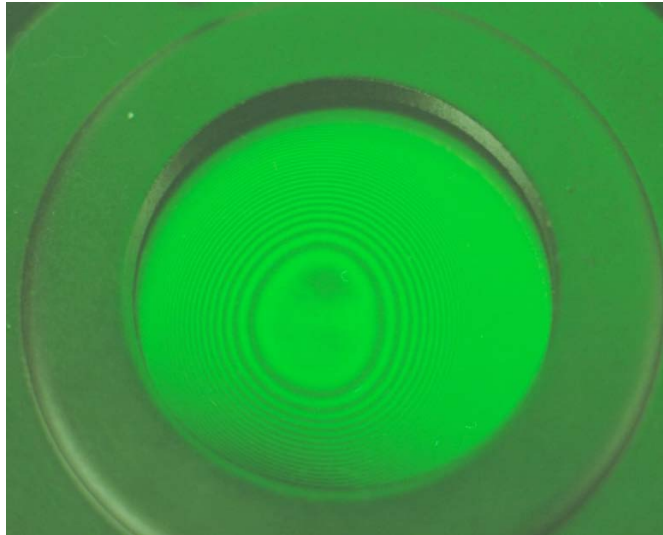


Figura 2.3 – “Anéis de Newton” formados por incidência de luz monocromática verde.

Atualmente, esse fenômeno é explicado pelo conceito de interferência entre ondas luminosas refletidas na primeira e na segunda superfície do filme. Newton, por sua vez, elaborou o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão para explicá-lo, que levavam em conta implicitamente uma concepção corpuscular para a luz⁹.

⁹ Estudaremos o conceito de estados da luz no capítulo 3, seção 3.5.4.

As propriedades visuais dos objetos (opacidade, transparência e cores) foram outro assunto tratado por Newton no Livro II. Segundo ele, essas propriedades estariam relacionadas às características dos corpúsculos que compõem os corpos, os quais ele chamou de partes e poros.



Figura 2.4 – No Livro II do *Óptica*, ao tratar das propriedades visuais dos corpos, Newton procurou explicar, por exemplo, por que uma flor era vermelha ou por que uma pena era azul.

Outros fenômenos estudados no Livro II foram as reflexões e refrações parciais em superfícies de corpos transparentes e a reflexão interna total dos raios de luz. Por meio de uma argumentação complexa e rica em detalhes, ele construiu um conjunto de explicações interessantes para seu tempo.

Tais aspectos da obra de Newton ainda não são muito conhecidos e também foram pouco estudados por historiadores da ciência. No caso do conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão, há muitas fontes – artigos científicos, livros de divulgação, sites da internet etc. – que propagam a suposição de que ele foi uma antecipação do conceito moderno de dualidade onda-partícula. Entretanto, estudos históricos indicam que essa comparação é completamente inadequada (MOURA & SILVA, 2008).

Menos conhecida ainda é a repercussão do conteúdo desse Livro na época imediatamente posterior à publicação do *Óptica*, o início do século XVIII. Enquanto os estudos sobre a recepção das partes mais conhecidas de sua óptica, de sua mecânica e de sua filosofia natural, numa perspectiva geral, no século XVIII são vastos¹⁰, há poucas análises sobre a aceitação de partes menos conhecidas de sua óptica, como essa.

O início do século XVIII foi marcado por intensas transformações na educação, na tecnologia, na cultura e na visão da sociedade sobre a Filosofia Natural. Fatores como esse impulsionaram um grande processo de popularização das teorias que os filósofos naturais elaboravam, sendo um dos intuitos aplicá-las na prática. Um dos pontos-chave desse período foi a forte influência do método indutivo, apregoado décadas antes por Francis Bacon (1561-1626). Newton, já conhecido na época como um grande defensor do indutivismo, estabeleceu-se como um representante do sucesso dessa metodologia, tendo sua óptica um papel fundamental.

Esses fatores motivaram um processo de popularização e aperfeiçoamento da óptica de Newton. A base desse processo era a união entre a óptica e a mecânica newtonianas, a fim de formar um corpo coerente de explicações para os fenômenos ópticos fundamentada na dinâmica de partículas descrita no *Principia*, primeiro livro de Newton e enraizada no indutivismo. Isso fez com que somente algumas partes da óptica newtoniana ganhassem notoriedade, enquanto outras caíram no esquecimento, como o conteúdo do Livro II.

A análise histórica que procederemos a partir do próximo capítulo procura discutir como se deram esses acontecimentos. De uma perspectiva histórica, esse estudo vem a suprir a pouca quantidade de estudos detalhados sobre outras partes da óptica newtoniana e dos caminhos trilhados por elas no século XVIII.

¹⁰ Ver a seleta bibliográfica disponível em Westfall (1980) e em Cohen & Westfall (2002). Particularmente, também recomendamos a leitura de Cohen (1963), Stewart (1986a), Stewart (1986b) e McMullin (2001).

De uma perspectiva educacional, por sua vez, a análise desse episódio pode oferecer subsídios suficientes para discutir em cursos de formação de professores aspectos consensuais sobre a Natureza da Ciência. Por exemplo, em relação à inexistência de um método científico universal, esse episódio histórico ilustrará que Newton utilizou diversas metodologias para compor e estabelecer suas explicações para os fenômenos ópticos analisados no Livro II do *Óptica*. Apesar de frequentemente defender somente o método indutivo e rechaçar a importância das hipóteses para o conhecimento do mundo natural, veremos que essas últimas desempenharam um papel crucial nas explicações para as cores dos corpos naturais e para os anéis de cores em filmes finos, fenômenos analisados no Livro II.

Outro aspecto que pode ser tratado é a influência contextos sociais, culturais, educacionais etc. no desenvolvimento da Ciência. Veremos que as diversas mudanças pelas quais a sociedade europeia – principalmente a britânica – passava influenciaram na aceitação ou rejeição de partes da óptica newtoniana. Muitos dos acontecimentos do início do século XVIII ainda são influentes na imagem que Newton representa para o mundo. Isso indicará que a Ciência está inevitavelmente atrelada aos costumes e valores da época na qual é construída, ou seja, é uma construção social e, por isso, sempre está em constante transformação.

Além disso, pode ser discutido o caso dos “gênios da ciência”. O estudo histórico que procederemos indicará que, no caso particular de Newton, seu retrato como um ser quase divino e além das capacidades humanas foi uma idealização de sua vida e obra iniciada no início do século XVIII. Isso foi motivado não somente pelo sucesso de suas idéias, mas também por motivos políticos relacionados com o desejo dos newtonianos em estabelecer Newton como uma espécie de “herói nacional”. Há muitas outras

características da NdC que podem ser discutidas por meio desse episódio histórico, que serão consideradas ao longo da dissertação.

Dessa forma, se utilizados sob o ponto de vista da Natureza da Ciência, os aspectos da filosofia natural newtoniana imersos no Livro II e o estudo de sua repercussão na primeira metade do século XVIII podem ser ricas fontes de debates, estudos e reflexão durante a formação de professores.

3

**O Livro II do *Óptica* e outros
aspectos da óptica newtoniana**

Newton nasceu e produziu seus trabalhos mais importantes no século XVII. Nessa época a Filosofia Natural começava a ganhar contornos próprios, se diferenciando de outras formas de conhecimento, embora ainda muito enraizada em motivações religiosas. Incorporado em um contexto recheado de teorias e descobertas que deixariam o período conhecido como a “Revolução Científica”, Newton marcou seu tempo com um tratamento instigante sobre o mundo.

No que se refere à óptica, a obra newtoniana é vasta e por isso mesmo somente algumas partes específicas são conhecidas pelo público geral. A relação de Newton com a luz e as cores foi longa e produtiva. Suas realizações concentravam-se essencialmente nas mesmas inquietações dos filósofos naturais do período sobre diversos tópicos da óptica, por exemplo, sobre as cores de um feixe de luz após sua passagem por um prisma, a composição, estrutura e comportamento de um meio etéreo – através do qual a luz se propagaria –, a interação entre luz e a matéria dos corpos, entre outros assuntos.

Os produtos desses estudos são as diversas teorias, novos experimentos, valorização da prática experimental na física, entre outras realizações. Imbricados a esses feitos estão várias concepções newtonianas sobre o mundo e sobre a Natureza e a forma de compreender e explicar os fenômenos naturais. Contudo, aspectos como esses são, geralmente, esquecidos pelas abordagens históricas superficiais comumente presentes em diversos meios de divulgação e educação científica. O estudo do Livro II de seu *Óptica*, publicado pela primeira vez em 1704, revela diversos desses aspectos na produção newtoniana pouco conhecidos.

Neste capítulo, analisaremos em detalhes o conteúdo do Livro II. Antes, discutiremos algumas influências que Newton sofreu ao longo de seus estudos em óptica e abordaremos sucintamente o conteúdo dos Livros I e III do *Óptica*. Buscamos enveredar pelas concepções de Newton para a luz, almejando compreender como suas

teorias foram desenvolvidas, as dificuldades por ele enfrentadas, seus limites de validade e sua fundamentação. Além disso, procuramos investigar quais posturas metodológicas foram adotadas por Newton durante a construção de suas idéias.

A análise dos estudos de Newton sobre óptica, principalmente aqueles contidos no Livro II do *Óptica*, fornecerá instrumentos fundamentais para uma melhor compreensão do desenvolvimento da óptica em todo o século XVIII, abrindo reflexões sobre como o conhecimento científico é construído e estabelecido, as quais podem ser utilizadas como exemplos para a introdução de aspectos da NdC no ensino de ciências.

3.1. Algumas influências sofridas por Newton

Nesta seção, discutiremos brevemente as influências exercidas por Pierre Gassendi (1592-1655), René Descartes (1596-1650), Robert Boyle (1624-1691) e Robert Hooke (1635-1703) nos estudos de Newton sobre a luz e as cores.

Na época em que Newton deu os primeiros passos na filosofia natural, o modelo de Descartes para o Universo influenciava cada vez mais os estudos dos filósofos naturais do período. Segundo ele, o Universo estaria totalmente preenchido por matéria organizada em turbilhões, os quais chamou de *vórtices*. Partindo dessas idéias, ele construiu sua mecânica, explicando vários fenômenos naturais como, por exemplo, a gravidade¹¹.

Para Descartes, a luz não seria um movimento, mas uma tendência ao movimento, uma força impulsiva transmitida instantaneamente pelas partículas do meio etéreo. Ele exemplificou seu modelo com uma analogia ao homem cego que percebe instantaneamente objetos com sua bengala. A luz se propagaria no meio como uma

¹¹ Para um estudo mais detalhado do universo cartesiano, ver Martins (1998).

pressão no e chegaria instantaneamente até nossos olhos do mesmo modo que os objetos são percebidos pelo toque com a bengala.

No entanto, ao analisar matematicamente as leis da refração, Descartes utilizou outro modelo para a luz. Ele assumiu que esta pressão da luz sobre o éter poderia ser analisada como se fosse um movimento de bolas de tênis contra uma superfície rígida. As cores que emergem de um prisma seriam resultado da rotação adquirida por estas bolas ao atravessarem uma superfície refratora, sendo modificações da luz branca¹².

Desde seus primeiros estudos, Newton rejeitou as teorias cartesianas para a luz e também para a mecânica (WESTFALL, 1980, pp. 301-04). Ele não admitia que a luz poderia se propagar em linha reta se fosse resultado de uma pressão ou movimento; as hipóteses de as cores serem causadas por modificações na luz branca, talvez fosse sua maior objeção. Mesmo assim, os estudos de Descartes foram incentivos importantes para as pesquisas posteriores de Newton sobre a luz (HALL, 1993, pp. 9-12).

Do mesmo modo, os trabalhos de Boyle foram fundamentais ao desenvolvimento dos estudos de Newton em óptica. Além de influenciá-lo nos campos da química e da alquimia (WESTFALL, 1980, pp. 317-77), Boyle ofereceu ao jovem Newton algumas direções para o estudo de vários fenômenos ópticos, principalmente por meio de seu livro *Experiments and considerations touching colours*, publicado em 1664. Entre eles, o fenômeno dos anéis de cores em películas finas, que seria posteriormente estudado detalhadamente no Livro II do *Óptica*.

O *Experiments and considerations* não tratava exatamente da óptica em si, mas da relação entre a matéria e suas propriedades ópticas, incluindo a cor. Newton estudou cuidadosamente o livro, concordando com Boyle em algumas partes, por exemplo, sobre a afirmação de que as cores dos corpos não seriam qualidades deles, mas

¹² Uma análise minuciosa da óptica cartesiana foi apresentada em Sabra (1981), pp. 17-135.

características da luz refletida ou refratada por eles; discordando em outras, por exemplo, sobre a idéia de que a luz colorida seria resultado de modificações na luz branca (HALL, 1993, pp. 13-17).

Hooke foi outro importante filósofo natural da época estudado por Newton. Em 1665, ele publicou o livro *Micrographia*, sendo basicamente um tratado sobre microscópios, mas incluindo também várias idéias sobre a natureza da luz e formação de cores. As principais delas eram que a luz seria um tipo de pulso vibratório no éter; as cores seriam modificações da luz branca; só existiriam duas cores básicas ou primárias, o azul e o vermelho, sendo as outras cores misturas de azul e vermelho em proporções diferentes. Por meio delas, Hooke foi capaz de apresentar os primeiros estudos sistemáticos sobre o fenômeno dos anéis de cores em filmes finos. Newton rejeitou todas as idéias sobre luz de Hooke. Contudo, o *Micrographia* provavelmente foi considerado por ele uma importante fonte de informações, instigando vários de seus estudos posteriores, por exemplo, sobre os anéis coloridos (HALL, 1993, p. 20).

Mas por que Newton rejeitou muitas idéias sobre a luz de filósofos naturais importantes de sua época? Uma possível resposta reside na influência sobre a concepção de Newton para a luz exercida pela filosofia atomista de Gassendi, que reviveu e reformulou alguns dos princípios básicos do atomismo dos gregos Epicuro e Lucrecio.

A doutrina atomista dos gregos afirmava, entre outras coisas, que o Universo seria permeado por átomos, os quais, juntando-se e separando-se ao acaso, formariam tudo o que conhecemos. Dessa forma, o Universo não necessitaria ser conduzido por nenhum tipo de inteligência – diga-se, um deus –, sendo tudo fruto da causalidade (MARTINS, 1995, p. 47). Gassendi propôs novamente a idéia de um Universo composto de átomos,

contudo, esses seriam comandados por Deus, visão que ficou conhecida como “atomismo cristianizado” (WHITTAKER, 1951, p. 13).

O primeiro contato de Newton com os trabalhos de Gassendi ocorreu por meio da leitura do livro *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana*, escrito por Walter Charleton (1619-1707) e publicado em 1654. Possivelmente, o estudo da filosofia gassendiana por Newton foi seu principal motivador para a adoção de uma concepção corpuscular para a luz, a qual ele notadamente adotou, mas nem sempre defenderia ao longo de todos seus estudos em óptica (HALL, 1993, p. 33).

Obviamente, muitos outros filósofos naturais e demais pensadores do século XVII influenciaram os estudos de Newton, não só em óptica, mas em outros campos do conhecimento, como a religião e a alquimia (FORATO, 2006). Entretanto, a análise acima, embora breve, é suficiente para mostrar que a óptica newtoniana sofreu influências de outras correntes filosóficas ao longo de seu desenvolvimento.

Isso aponta para o fato de que nenhuma teoria científica pode ser desenvolvida independentemente do contexto no qual ela está inserida; e a óptica de Newton não foi uma exceção. Newton estudou as teorias correntes no período, concordando ou discordando com alguns de seus aspectos, iniciando o que viria a ser um dos mais importantes conjuntos de estudos sobre a luz e sobre os fenômenos ópticos.

3.2. Alguns dos primeiros estudos em óptica

Nesta seção, abordaremos os aspectos gerais de alguns dos primeiros estudos de Newton relacionados à óptica. Não discutiremos detalhadamente seus conteúdos. Se necessário, nos referiremos a eles em mais detalhes.

Entre os anos de 1664 e 1665, enquanto era estudante no Trinity College em Cambridge, Newton escreveu no topo de seu caderno os dizeres: *Amicus Plato, amicus Aristotle magis amica veritas*, do latim, “Sou amigo de Platão, sou amigo de Aristóteles, mas a verdade é minha melhor amiga”. Essas palavras marcaram o início de um caderno de anotações onde Newton escreveu suas primeiras idéias sobre a natureza das coisas, incluindo especulações sobre a natureza da luz. Nos anos seguintes, essas idéias se tornariam o cerne das principais teorias newtonianas. O caderno foi chamado de *Questiones quaedam philosophicae*¹³.

No *Questiones*, Newton elaborou vários tópicos sob os quais deveria organizar o material adquirido em suas leituras. Alguns deles são: “Dos átomos”, “Do calor e frio”, “Do movimento”, “Da Terra”, “Vegetais”, “Da luz” e “Das cores”. Em alguns desses tópicos, Newton escreveu pouco, já em outros – como em “Das cores” – as anotações foram extensas, obrigando-o a continuá-las em outros lugares.

A maioria do conteúdo dos tópicos do caderno é composta de descrições qualitativas, baseadas principalmente em hipóteses, experimentos, na leitura e crítica a trabalhos de outros filósofos naturais da época, como os citados na seção anterior. Elas eram especulações e anotações de um iniciante bastante dedicado e curioso, mas continham importantes idéias que foram desenvolvidas posteriormente, por exemplo, as referentes à luz e às cores. Em um trecho do tópico “Das cores”, Newton descreveu um experimento com prismas, a fim de estudar a natureza das cores como, por exemplo, o experimento ilustrado na figura 3.1.

¹³ Do latim: “Algumas questões filosóficas”. O “*Questiones*” foi publicado na íntegra em McGuire & Tamny (1983). A coletânea de textos de Newton organizada por I. Bernard Cohen e Richard Westfall apresenta alguns tópicos do caderno e está disponível em português (COHEN & WESTFALL, 2002, pp. 22-30).

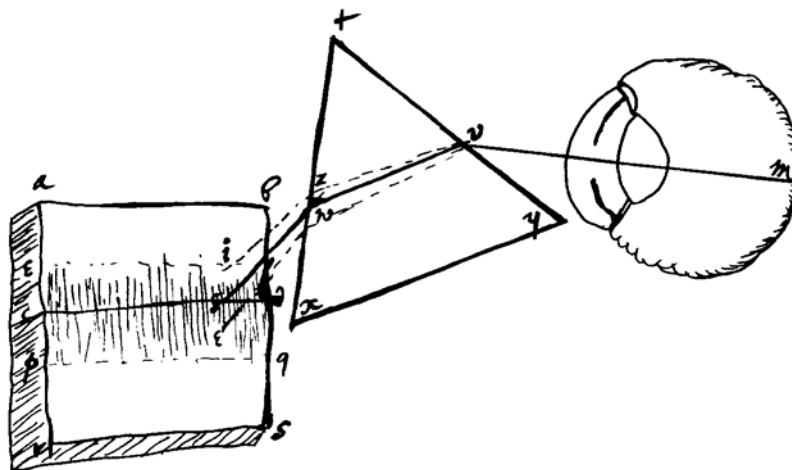


Figura 3.1 - Figura de Newton no *Questiones* para ilustrar um de seus primeiros experimentos com prismas.

Por volta de 1666, Newton escreveu o ensaio “Of colours”¹⁴ – não publicado na época –, como uma extensão dos estudos sobre a luz e as cores apresentados em seu caderno de anotações. Nesse ensaio, suas discussões estavam mais refinadas, com a descrição minuciosa de diversos experimentos com prismas. Newton discutiu com mais destaque o espectro de cores formado pela passagem de um raio de luz branca por um prisma e pela primeira vez abordou o fenômeno da formação de anéis de cores em filmes finos.

Em 1672, Newton entregou à biblioteca da Universidade de Cambridge, onde era professor da cátedra Lucasiana, um conjunto de aulas de óptica que havia ministrado nos anos anteriores. Esse conjunto é conhecido como *Optical lectures*¹⁵, em que tratou com alto rigor geométrico temas como a refração e a reflexão da luz por placas paralelas, lentes esféricas e não esféricas, cores dos objetos, refrangibilidade dos raios

¹⁴ O “Of colours” foi publicado em McGuire & Tamny (1983).

¹⁵ O *Optical lectures* é constituído pelo *Optica* (que foi entregue à biblioteca da Universidade de Cambridge) e uma versão menor dela, as *Lectiones opticae* (que ficou em poder de Newton), ambas escritas originalmente em latim. Elas foram traduzidas para o inglês e editadas por Alan E. Shapiro e podem ser consultadas em Newton (1984).

coloridos, entre outros assuntos (SILVA, 1996, p. 4). Grande parte dessas discussões estariam presentes posteriormente no *Óptica*, contudo, de forma mais simples e sem as sofisticadas descrições geométricas.

Nenhum dos trabalhos acima se tornou conhecido pelo grande público de filósofos naturais da época. Somente a publicação do artigo “Nova teoria sobre luz e cores”¹⁶, no mesmo ano de 1672, fez Newton e sua óptica conhecidos pela sociedade científica, principalmente a britânica. O artigo tratava da relação entre cor e refrangibilidade, o que levaria à idéia de que a luz branca seria uma mistura heterogênea de raios coloridos.

A “Nova teoria” foi fortemente criticada por filósofos naturais da época, principalmente por Robert Hooke, Christiaan Huygens (1629-1695) e Ignatius Pardies (1636-1673). As críticas se referiam especialmente à idéia de heterogeneidade da luz branca e às particularidades dos experimentos feitos por Newton (SABRA, 1981; SILVA, 1996).

Após envolver-se nessas controvérsias, Newton ficou recluso por três anos, até enviar à *Royal Society* em 1675 dois trabalhos: “A hipótese da luz – uma hipótese explicativa das propriedades da luz sobre as quais discorrem meus diversos artigos” (NEWTON, 2002) e outro sem título, mas conhecido atualmente como “Discurso das observações” (NEWTON, 1978)¹⁷. Ambos não foram publicados na época, somente lidos em seções da sociedade.

Newton finalizou a “Hipótese” em 1675 (WESTFALL, 1980, p. 244), revisando substancialmente as versões anteriores¹⁸. O “Discurso” continha, basicamente, o mesmo conteúdo do Livro II do *Óptica* – que seria publicado quase trinta anos depois –, exceto por algumas medidas e a parte corresponde ao conceito de estados da luz (HALL, 1993,

¹⁶ Disponível em português em Silva & Martins (1996).

¹⁷ Esses trabalhos serão citados como “Hipótese” e “Discurso”.

¹⁸ Este trabalho será discutido em detalhes na seção 3.5.4.1.

p. 117). Juntos, todos os estudos e trabalhos discutidos acima formam a essência da principal obra de Newton sobre luz e cores, o *Óptica*, publicado somente em 1704.

Essa descrição sucinta dos primeiros estudos de Newton indica que suas concepções sobre a natureza da luz e das cores e sobre os fenômenos ópticos não nasceram prontas no *Óptica*. Pelo contrário, foram fruto de décadas de esforço e dedicação.

Por diversas vezes, Newton aperfeiçoou suas idéias, mudando-as em vários aspectos. Ele especulou, errou e acertou em muitos pontos. Até que o *Óptica* finalmente fosse publicado, a óptica newtoniana passou por diferentes fases, desde as primeiras especulações do *Questiones* até os trabalhos mais refinados, como a “Nova teoria sobre luz e cores” e “A hipótese da luz”.

A discussão acima indica que, para que um cientista estruture suas idéias na forma de teorias é necessário percorrer um longo caminho. Problemas conceituais podem surgir, argumentos podem ser complementados com novas informações e críticas podem ser tecidas às teorias, assim como aconteceu no desenvolvimento da óptica de Newton.

3.3. O *Óptica*

Ao longo do século XVIII, o *Óptica* teve quatro edições em inglês, publicadas em 1704, 1717-18, 1721 e 1730. Além dessas, foram publicadas duas edições em latim, em 1706 e 1719, e duas em francês, em 1720 e 1721.

O *Óptica* é dividido em três livros. O Livro I trata principalmente da composição da luz branca e do estudo das cores de objetos; o Livro II – como dito anteriormente – contém estudos de fenômenos como as cores dos corpos naturais e os anéis coloridos

em filmes finos e apresenta o conceito dos estados da luz; o Livro III trata dos fenômenos relacionados com a “inflexão da luz” (difração em linguagem atual), seguido das famosas *Questões*, em que Newton apresentou várias idéias importantes que permearam sua obra, sem se comprometer explicitamente com nenhuma delas, evitando impasses.

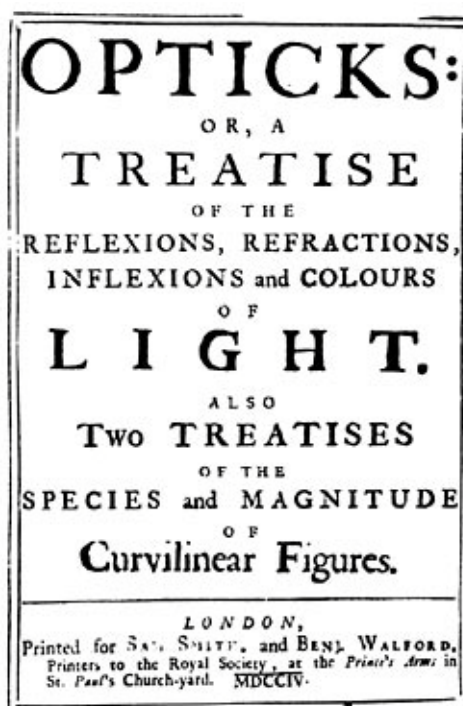


Figura 3.2 – Capa da primeira edição do *Óptica* (1704).

O conteúdo e a estrutura do *Óptica* passaram por diferentes estágios até sua publicação no início do século XVIII¹⁹. Segundo Newton, parte de seu conteúdo começou a ser escrita em 1675, “a pedido de alguns cavaleiros da *Royal Society*” (NEWTON, 1996, p. 31). Contudo, segundo estudos históricos, o *Óptica* somente tomaria forma a partir de 1687 (HALL, 1993, p. 87; SHAPIRO, 1992, p. 199; WESTFALL, 1980, p. 520).

¹⁹ Para uma discussão detalhada desses diferentes estágios, ver Shapiro (1992).

O plano inicial de Newton previa a elaboração de quatro livros para o *Óptica*, e não três, como foi publicado. O primeiro e o segundo livro seriam baseados no texto “Fundamentum Opticae”²⁰, escrito entre 1687 e 1688. Esse texto se apoiava na teoria de luz e cores desenvolvida por ele nas *Optical lectures* e correspondências sobre óptica trocadas com outros filósofos naturais no início da década de 1670 (SHAPIRO, 1992, p. 197-98).

O terceiro livro, finalizado em 1692, seria composto pelo texto do “Discourse”, revisado e corrigido, e pelas proposições que tratavam do conceito de estados da luz. O livro quatro abordaria os fenômenos dos anéis de cores em filmes espessos e da difração da luz, e conteria algumas questões (SHAPIRO, 1992, p. 199). No entanto, este plano não se concretizou e o *Óptica* foi reorganizado com estrutura que conhecemos, contendo três livros (WESTFALL, 1980, p. 523).

Há evidências de que durante a reestruturação do *Óptica* para três livros, Newton esboçou um “Quarto livro”, com conteúdo diferente do antigo livro quatro. Nesse “Quarto livro”, ele pretendia escrever sobre a existência de forças de curto alcance entre a luz e os corpos, finalizando o *Óptica* com um tratamento mecânico para a luz e para os fenômenos ópticos (HALL, 1993, p. 87, 90).

Em seu primeiro livro publicado em 1687, o *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ou somente *Principia*, Newton já havia afirmado breve e superficialmente que fenômenos ópticos como a refração e a reflexão poderiam ser explicados por interações mecânicas. No “Quarto livro” Newton teria aperfeiçoado essas explicações, elaborando uma argumentação mais concisa e detalhada. No entanto, o livro não foi completado e seu conteúdo foi distribuído entre alguns trechos do Livro I e das *Questões* do Livro III (HALL, 1993, p. 89).

²⁰ Do latim: “Fundamentos de óptica”.

Após esse longo caminho de modificações, o *Óptica* foi finalmente publicado em 1704. Mesmo assim, seu conteúdo ainda seria ligeiramente modificado com a publicação de edições seguintes.

Apresentando uma linguagem simples – porém, com discussões sofisticadas – e sem o uso de pesada argumentação matemática, o *Óptica* é essencialmente resultado da elucidação de experimentos e de proposições. Em vários trechos do livro, Newton deixou claro que o propósito do *Óptica* era estabelecer explicações sobre os fenômenos da natureza através da análise de experimentos. No início do Livro I, ele explicitou essa intenção:

Meu objetivo neste livro não é explicar as propriedades da luz por hipóteses, mas propô-las e prová-las pelo raciocínio e por experiências [...]. (NEWTON, 1996, p. 39)

Por isso, desde sua publicação, o *Óptica* carrega uma imagem de filosofia natural indutivista e livre de hipóteses, o que favoreceu sua ampla aceitação entre os filósofos naturais do início do século XVIII, como veremos no capítulo 4. Aliado ao prestígio de um filósofo natural influente no período como Newton, o *Óptica* foi tão impactante quanto o *Principia* (SILVA, 1996, p. 2).

Guardando resquícios das várias formas que adquiriu ao longo de várias décadas, o *Óptica* se tornou mais que um simples tratado sobre a luz e os fenômenos ópticos, mas um celeiro de discussões sobre a natureza e o comportamento da matéria, idéias sobre eletricidade, magnetismo, calor, química, religião, considerações sobre as causas de fenômenos mecânicos, entre outros assuntos.

Incorporado às discussões sobre experimentos e às proposições elaboradas a partir deles está uma ampla e implícita rede de especulações, suposições, metodologias e outros aspectos epistemológicos que Newton não considerava explicitamente. Portanto,

apesar da aura indutivista que cerca o *Óptica*, várias hipóteses e pressuposições de Newton constituem partes essenciais de sua composição (MOURA & SILVA, 2008). Esses aspectos de sua óptica podem ser claramente vistos na análise do Livro II.

Certamente, o *Óptica* continua sendo uma obra marcante. Newton demonstrou sua grande capacidade de lidar com diversos fenômenos ópticos e elaborar explicações para eles. Contudo, é necessário cautela ao falarmos sobre essa obra. Qualquer análise superficial do *Óptica* certamente não levará em consideração vários pontos fundamentais para a compreensão das várias nuances conceituais e epistemológicas envolvidas nesse livro.

3.4. Os Livros I e III

Nesta seção, abordaremos sucintamente o conteúdo dos Livros I e III do *Óptica*. Por não serem os pontos centrais dessa pesquisa, levantaremos apenas os aspectos gerais desses dois livros.

O Livro I do *Óptica* é dividido em duas partes. Na primeira parte, Newton abordou inicialmente tópicos gerais da óptica, por exemplo, refração, reflexão, formação de imagens por lentes esféricas etc. Posteriormente escreveu sobre as cores e os diferentes graus de refração dos raios de luz e sobre a composição da luz solar. Na segunda parte, ele discutiu a imutabilidade da luz e das cores dos objetos e apresentou aplicações de sua teoria, por exemplo, para explicar a aberração cromática em lentes de lunetas (SILVA, 1996).

A principal marca epistemológica do Livro I é sua defesa contundente do indutivismo como o método para a pesquisa em Filosofia Natural. Uma leitura superficial de seu conteúdo ilustra a habilidade e o raciocínio indutivo de Newton ao

construir sua argumentação sobre a relação entre cor e refrangibilidade e sobre a natureza heterogênea da luz branca.

Para ele, o conhecimento certo e verdadeiro sobre o mundo somente seria obtido pela dedução das propriedades dos fenômenos naturais a partir dos experimentos, sem o uso de hipóteses. Provavelmente, a defesa ao indutivismo era uma estratégia de Newton para se diferenciar de outros filósofos naturais anteriores a ele que utilizavam hipóteses para compor suas idéias, principalmente Descartes. No Escólio Geral escrito em 1713 para a segunda edição dos *Principia*, ele enunciou sua famosa frase, deixando clara sua posição:

Não faço hipóteses; [...]. O que não for deduzido a partir de fenômenos deve ser chamado de hipótese; e hipóteses, sejam metafísicas ou físicas, sejam de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm nenhum lugar na filosofia experimental. Nesta filosofia experimental, proposições são deduzidas a partir dos fenômenos e generalizadas por indução. (NEWTON, 1999, p. 943)

Dessa forma, Newton defendia que em sua filosofia natural, particularmente em seus trabalhos publicados em óptica, os aspectos experimentais e fenomenológicos deveriam ser priorizados, ao invés de construir uma ciência fundamentada no uso de hipóteses. No final do *Óptica*, Newton novamente deixou claro sua preferência pelo método indutivo:

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 quando mais geral é a indução. (NEWTON, 1996, p. 292)

Seguindo estas diretrizes metodológicas, ele conduziu a maior parte de seu raciocínio no Livro I, construindo uma teoria a partir de um grande número de observações experimentais²¹. Contudo, uma análise detalhada mostra que Newton não foi puramente indutivista em sua argumentação no Livro I (SILVA, 1996). Em vários trechos desse – e também dos outros Livros – Newton foi obrigado a utilizar outros tipos de argumentos não experimentais para fundamentar suas explicações. Esses fatos são exemplos oportunos para uma discussão mais abrangente sobre questões metodológicas sobre a Ciência, pois indicam a importância de argumentos epistemológicos e idealizações no desenvolvimento do conhecimento científico (SILVA, 1996; SILVA & MARTINS, 2003).

No Livro III, Newton tratou inicialmente o fenômeno da difração (a “inflexão da luz”), descoberto por Francesco Maria Grimaldi (1618-1663). Antes de Newton, outros filósofos naturais já haviam estudado a difração, tais como Honoré Fabri (1607-1688) – por meio do qual Newton conheceu os trabalhos de Grimaldi – e Hooke (HALL, 1990).

Nos *Principia*, Newton discutiu a difração de forma bastante superficial. No *Óptica*, por sua vez, ele abordou detalhadamente o fenômeno, descrevendo vários experimentos com facas e fios de cabelos e discutindo as franjas de luz e sombra formadas pela passagem de um feixe de luz próximo a esses objetos. Segundo ele, a deflexão dos raios seria causada por alguma ação entre os raios de luz e os objetos, que não foi discutida em mais detalhes.

²¹ Para mais detalhes, ver Martins & Silva (2001).

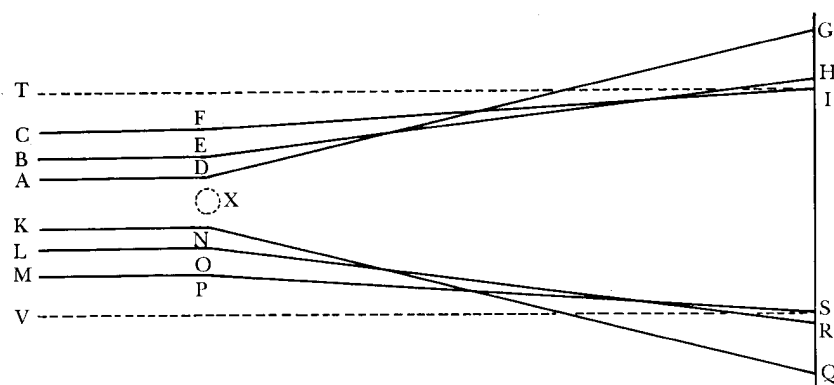


Figura 3.3 – Newton sobre a inflexão da luz. X seria um fio de cabelo, que faria com que feixes de luz passando perto dele fossem divergidos de sua trajetória, formando franjas de luz e sombra em um anteparo.

Finalizando o Livro III, Newton apresentou as famosas *Questões*. Na primeira edição, em 1704, elas eram apenas dezesseis. Na edição em latim de 1706, foram acrescentadas sete novas questões e à segunda edição em inglês, de 1717-18, mais oito questões foram adicionadas. Nas edições posteriores, não houve mudanças expressivas tanto no conteúdo quanto na ordem das questões.

As *Questões* marcam pelo seu caráter especulativo e ao mesmo tempo afirmativo. Newton as conduziu de forma que pudesse afirmar algo sob a forma de uma questão, formando uma estratégia para estabelecer suas idéias não completamente formalizadas sobre alguns fenômenos.

Por exemplo, ao discutir a materialidade da luz, Newton procurou não se comprometer com essa idéia.

Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham?
(NEWTON, 1996, p. 271)

Como vemos, Newton está afirmando e questionando ao mesmo tempo. Seguindo essa estratégia, ele explorou diversos assuntos não discutidos detalhadamente ao longo

de outras partes do *Óptica*, por exemplo, a existência de forças entre a luz e os corpos e o fenômeno da dupla refração.

As *Questões* formam uma das partes mais intrigantes do *Óptica*. Por um lado, elas evidenciam várias concepções que Newton adotou implicitamente ao longo do livro, mas não defendeu abertamente, provavelmente, por não ter argumentos suficientes para tal. Por outro lado, elas indicam que Newton pretendia expandir seus estudos sobre óptica, possivelmente procurando incorporar suas teorias ópticas em um modelo mecânico, como faria no “Quarto livro”.

Podemos afirmar, portanto, que o Livro III representa uma parte inacabada da óptica newtoniana. Veremos nos capítulos seguintes que, nas décadas posteriores à publicação do *Óptica*, os seguidores de Newton buscaram aperfeiçoar várias idéias incompletas do Livro III, construindo um corpo de explicações para os fenômenos ópticos baseadas em modelos mecânicos para a luz.

3.5. Um estudo do Livro II

Ao contrário do Livro I, o conteúdo do Livro II do *Óptica* não é tão conhecido atualmente e também não foi suficientemente estudado por historiadores da ciência. Nesta seção, apresentaremos um estudo detalhado do conteúdo do Livro II, indicando que as discussões e teorias presentes nele formaram uma parte fundamental – e pouco conhecida – da óptica de Newton.

Além disso, sugeriremos que o Livro II representa mais uma evidência de que Newton nem sempre seguiu o método indutivo que tanto apregoava. A partir desse estudo, obteremos informações importantes para compreendermos nos capítulos

seguintes a recepção do conteúdo desse livro pelos filósofos naturais do início do século XVIII.

3.5.1. Uma análise geral do conteúdo do Livro II

O Livro II contém uma ampla discussão sobre a formação dos anéis de cores em películas finas, sendo dividido em quatro partes. Na primeira parte, Newton descreveu uma grande variedade de experimentos sobre a formação de anéis coloridos em bolhas e filmes finos entre prismas e lentes. Além disso, Newton relacionou matematicamente o diâmetro dos anéis coloridos formados pela película de ar entre duas lentes com o raio de curvatura das mesmas, obtendo uma medida da espessura da película de ar existente entre as duas lentes.

Na segunda parte, Newton continuou a descrever seus experimentos, relacionando-os com os resultados obtidos na primeira parte e acrescentando um estudo sobre as cores formadas em películas de substâncias diferentes como ar, água e vidro.

Na terceira parte, Newton elaborou proposições para explicar os resultados obtidos nas duas primeiras. Ela é constituída de um total de vinte proposições e uma definição. As primeiras sete proposições são destinadas à opacidade, transparência e cores dos corpos naturais. As proposições 5 a 7, em particular, relacionam as cores dos objetos com as cores dos "anéis de Newton" e buscam construir uma única explicação para tratar esses dois fenômenos.

Nas proposições de 8 a 10, Newton discutiu a reflexão e a refração da luz sem se comprometer explicitamente com sua natureza corpuscular, porém supondo a existência de uma força agindo à distância entre a matéria e os raios de luz. Na Proposição 11, Newton defendeu que a luz se propaga com velocidade finita.

Finalmente, nas proposições de 12 a 20, Newton introduziu o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão como propriedades dos raios de luz e os aplicou para a refração, reflexão e “anéis de Newton”. Na quarta parte do Livro II, Newton estudou a formação de anéis em lâminas espessas²².

Nossa análise será focada nas observações de Newton sobre os anéis coloridos, na discussão sobre a opacidade, transparência e cores dos objetos – sendo essa última propriedade relacionada aos anéis coloridos em películas finas –, na elaboração do conceito de força entre a luz e matéria e no desenvolvimento do conceito de estados da luz. Esse recorte se justifica pelo fato de que essas partes concentram a maior parte do desenvolvimento da argumentação de Newton sobre os assuntos tratados no Livro II, sendo suficientes para entender o impacto desse livro na óptica do século XVIII.

Para que a leitura da análise seguinte seja mais proveitosa, recomendamos que o leitor consulte constantemente o *Óptica*.

3.5.2. Opacidade, transparência e cores dos objetos

Em uma dezena de proposições, Newton abordou a opacidade, transparência e cores dos corpos naturais. Sua intenção inicial foi explicar por que alguns corpos seriam ou ficariam opacos ou transparentes. Com essa questão esclarecida, ele argumentou sobre algumas razões que levariam alguns corpos a apresentar determinadas cores, buscando estabelecer uma analogia entre essas cores e as cores dos anéis em filmes finos. No subtítulo da parte 3, Newton deixou claro que ia buscar essa relação análoga:

“Das cores permanentes dos corpos naturais e da analogia que há entre elas e as cores de lâminas transparentes delgadas.” (NEWTON, 1996, p. 189)

²² Os estudos de Newton sobre os anéis de cores em películas espessas foram analisados em Shapiro (1993).

Nessa parte, Newton uniu gradativamente a proposição seguinte com o que havia sido discutido na proposição anterior, formando uma linha de raciocínio bastante interessante. Primeiramente, ele abordou características específicas dos corpos, como poder refrator e densidade.

Proposição 1

As superfícies dos corpos transparentes que têm o maior poder refrator refletem a maior quantidade de luz; isto é, nas quais interferem meios que diferem mais em suas densidades refrativas. E não há reflexão nos limites de meios igualmente refletores. (NEWTON, 1996, p. 189)

Para mostrar que quanto maior o poder refrator de uma superfície, maior quantidade de luz é refletida, Newton abordou o fenômeno da reflexão total de um raio de luz quando de sua passagem de um meio mais denso para um menos denso. Notando uma relação proporcional inversa entre a obliquidade necessária para a reflexão total e a diferença de densidade entre dois meios, Newton concluiu que quanto maior essa diferença, menor é a obliquidade com que a luz é refletida totalmente. Sendo assim, para ele

[...] as superfícies que refratam mais refletem mais cedo toda a luz que incide sobre elas, e por isso devem ser admitidas como mais fortemente reflexivas. (NEWTON, 1996, p. 190)

Portanto, Newton procurou estabelecer a princípio uma relação entre a ocorrência da reflexão e a densidade dos corpos. Quando não houvesse essa diferença, não haveria reflexão.

[...] o motivo pelo qual meios transparentes uniformes (tais como a água, o vidro ou o cristal) não apresentam reflexão perceptível exceto em suas superfícies externas, nas partes onde são adjacentes a outros meios de uma densidade

diferente, é que todas as suas partes contíguas têm o mesmo grau de densidade. (NEWTON, 1996, p. 190)

As “partes” sobre as quais Newton fala são as partículas que compõem os corpos. Sendo assim, na sua concepção, corpos como a água e o vidro seriam transparentes porque suas partes teriam a mesma densidade. Partindo dessa relação entre reflexão e densidade, Newton procurou discutir a opacidade e transparência dos corpos na proposição seguinte.

Proposição 2

As menores partes de quase todos os corpos naturais são até certo ponto transparentes; e a opacidade desses corpos decorre da infinidade de reflexões que ocorrem em suas partes internas. (NEWTON, 1996, pp. 190-91)

Nessa proposição, há duas idéias sobre a opacidade e transparência dos corpos. A primeira delas refere-se ao tamanho das partículas que compõem os corpos (as partes) e a segunda às várias reflexões internas. Nas duas proposições seguintes, Newton discutiu melhor essas duas idéias, relacionando uma com a outra.

Na proposição 3, Newton afirmou que entre as partes que compõem os corpos haveria poros. Esses poros poderiam estar vazios ou preenchidos por alguma substância. Baseando-se na relação entre reflexão e densidade estabelecida na Proposição 1, Newton propôs que se os poros estivessem vazios ou preenchidos com meios de densidade menor que as partes, ocorreria uma reflexão na interface entre os dois, e o corpo seria opaco. Se o poro fosse preenchido por uma substância de densidade semelhante ao do corpo, ele se tornaria praticamente transparente.

Para exemplificar, Newton discutiu o caso de uma folha de papel. Se molharmos essa folha, o papel ficaria transparente, devido ao fato da água – de densidade

semelhante à do papel, segundo Newton – ter preenchido seus poros. Se a secarmos, a água presente nos poros evaporaria e o papel voltaria a ser opaco.

Na proposição 4, Newton argumentou que quando um corpo é feito bem fino, ele se torna transparente. Isso indicaria a existência de um tamanho limite para as partes dos corpos, para que eles sejam transparentes ou opacos. Segundo ele, se o corpo fosse reduzido para um tamanho inferior ao limite, não haveria reflexões entre as partes e os poros desses corpos.

Sendo assim, de uma forma geral, Newton propôs que os corpos seriam compostos de partes e poros. A opacidade ou transparência seria resultado de várias reflexões nas superfícies entre partes e poros, que não mais aconteceriam se o corpo ficasse muito fino.

Newton prosseguiu sua argumentação, agora discutindo as cores dos corpos. No Livro I, ele adotou uma abordagem fenomenológica, atendo-se apenas aos fenômenos observados (SILVA, 1996, p. 60-75). Ou seja, ele explicou as cores baseando-se no fato de que certos corpos refletem mais determinadas cores que outras e não fez inferências sobre propriedades microscópicas ou aos mecanismos que causam esta reflexão. Já no Livro II, ele buscou investigar essas propriedades e mecanismos.

No início de sua argumentação, ele relacionou as cores dos corpos com as cores dos anéis formados por filmes finos. Ao analisar esse último fenômeno em trechos anteriores do Livro II, Newton estabeleceu uma relação entre o tamanho da película e a cor do anel correspondente a ela. Segundo ele, as cores dos corpos naturais seriam explicadas de maneira análoga.

Proposição 5

As partes transparentes dos corpos, de acordo com seus vários tamanhos, refletem raios de uma cor e transmitem os de outra pela mesma razão por que as lâminas

finas ou as bolhas refletem ou transmitem esses raios. E considero esta a razão de todas as suas cores.

Pois se um corpo adelgado ou laminado – que, sendo de uma espessura uniforme, aparece em toda parte com uma cor uniforme – for fendido em fios ou dividido em fragmentos da mesma espessura que a lâmina, não vejo porquê cada fio ou fragmento não deva conservar a sua cor; e, em conseqüência, por que uma pilha desses fragmentos não deva constituir uma massa ou pó da mesma cor que a lâmina exibia antes de ter sido fragmentada. E as partes de todos os corpos naturais, sendo similares aos fragmentos de uma lâmina, devem, pela mesma razão, exibir as mesmas cores. (NEWTON, 1996, pp. 192-93)

Dessa forma, Newton propôs que as cores dos corpos dependiam do tamanho de suas partículas. Ele supunha que os corpúsculos de um corpo de uma determinada cor deveriam ter o mesmo tamanho de uma película fina que exibisse um anel de mesma cor. Newton forneceu vários exemplos para reforçar esta idéia, como penas de pássaros, teias de aranha, folhas, pós de tinta, entre outros.

No entanto, há um detalhe importante nessa relação que deve ser considerado: os anéis mudam de cor dependendo da posição em que são observados. Nas observações 7 e 8 da parte 1, Newton relatou esse fato, descrevendo uma relação entre obliquidade de observação, diâmetro do anel e espessura da película fina (NEWTON, 1996, pp. 162-63). Nos objetos, tal fato não acontece.

Provavelmente ciente de que isso poderia causar interpretações contraditórias em sua argumentação, Newton referiu-se às observações 19 e 22 da parte 1, em que escreveu que os anéis formados por um meio mais denso que aquele que o cerca – como um filme de água entre lentes, bolhas de sabão ou uma fina camada de vidro expostas ao ar – mudam pouco com a obliquidade, além do fato de serem mais vívidos nessa situação (NEWTON, 1996, pp. 171-173). A partir disso, ele afirmou na proposição 6 que “as partes dos corpos naturais das quais dependem suas cores são mais densas do que o meio que lhes ocupa os interstícios” (NEWTON, 1996, p. 194).

Sendo assim, como as cores de anéis em bolhas de sabão e também em uma fina lâmina de vidro não mudavam com a posição de onde eram observadas, Newton concluiu que essa era a mesma causa para a não mudança das cores dos corpos quando vistos de lugares diferentes, a saber, as partes que os compõem são mais densas que os poros. Eliminadas as possíveis inconsistências de suas explicações, ele concluiu sua argumentação sobre as cores dos corpos na proposição seguinte, estabelecendo explicitamente a relação entre essas cores e os “anéis de Newton”.

Proposição 7

A grandeza das partes componentes dos corpos naturais pode ser conjecturada por suas cores. (NEWTON, 1996, p. 195)

Segundo Newton, assumindo que as partículas constituintes de um corpo qualquer possuíam a mesma densidade refrativa da água ou vidro – que formariam anéis de cores em determinadas situações –, seus tamanhos seriam obtidos a partir da cor que o corpo exibisse. Isso poderia ser verificado em uma tabela construída por Newton na segunda parte do Livro II (representada na figura 3.4), em que relacionou determinadas cores com as espessuras correspondentes no ar, água e vidro.

A espessura das lâminas e partículas coloridas de

		Ar	Água	Vidro
Suas cores de primeira ordem	Muito preto	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Preto	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Início de preto	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	Azul	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{22}$
	Branco	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	Amarelo	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	Laranja	8	6	$5\frac{1}{6}$
	Vermelho	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$
De segunda ordem	Violeta	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$
	Anil	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	Azul	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Verde	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{2}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	Amarelo	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$
	Laranja	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Vermelho brilhante	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	Escarlate	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
De terceira ordem	Púrpura	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	Anil	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	Azul	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	Verde	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
	Amarelo	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	Vermelho	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	Vermelho-azulado	32	24	$20\frac{2}{3}$
De quarta ordem	Verde-azulado	34	$25\frac{1}{2}$	22
	Verde	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$
	Verde-amarelado	36	27	$23\frac{2}{9}$
	Vermelho	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26
De quinta ordem	Azul-esverdeado	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$
	Vermelho	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34
De sexta ordem	Azul-esverdeado	$58\frac{3}{4}$	44	38
	Vermelho	65	$48\frac{3}{4}$	42
De sétima ordem	Azul-esverdeado	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$
	Branco-rubro	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$

Figura 3.4 – Relação entre cor do anel e espessura do filme (ar, água ou vidro).

Essa proposição fechou a argumentação de Newton sobre as cores dos objetos e sua relação com os anéis coloridos. Nos trechos seguintes, Newton partiu para um tratamento também sofisticado para explicar a interação da luz com matéria.

3.5.3. A interação entre a luz e a matéria

Ao longo dos anos, Newton discutiu quatro modelos distintos para explicar a interação entre luz e matéria: choque dos raios de luz com as partículas que compõem os corpos, vibrações causadas pelos corpúsculos de luz no éter, força agindo a uma determinada distância entre os corpos e a luz, propriedade inata dos raios de luz, os estados de fácil transmissão e fácil reflexão, discutidos na próxima seção.

Entre as proposições 8 e 10, Newton negou o modelo de choque dos raios de luz com o corpo e propôs a idéia de forças entre a luz e a matéria. Na proposição 8, ele apresentou diversos argumentos sobre como a reflexão **não** seria causada pelo choque da luz com as partículas dos corpos.

Proposição 8

A causa da reflexão não é o choque da luz com as partes sólidas ou impenetráveis dos corpos, como geralmente se acredita. (NEWTON, 1996, p. 199)

Em seguida, Newton apresentou seis argumentos para justificar sua proposição. Desses, selecionamos dois que nos pareceram mais relevantes. Em um deles, Newton analisou o fenômeno da reflexão total, argumentando que seria improvável que os raios de luz a partir de um determinado ângulo de incidência passassem a se deparar somente com partes que os refletissem:

Ora, é inimaginável que a luz, a um certo grau de obliquidade, deva deparar com suficientes poros no ar para transmitir a maior parte dela, e a outro grau de obliquidade deva deparar apenas com as partes para refleti-la completamente, sobretudo em se considerando que na sua passagem do ar para o vidro, por mais oblíqua que seja a sua incidência, ela depara com suficientes poros no vidro para

transmitir uma grande parte dela. [...]o que prova que sua reflexão ou transmissão depende da constituição do ar e da água atrás do vidro, e não da colisão dos raios com as partes do vidro[...]. (NEWTON, 1996, p. 200)

Outro argumento apresentado por Newton seria o fato de numa lâmina fina, uma mesma região apresenta cores diferentes quando observadas pela reflexão ou transmissão dos raios de luz:

[...] se a reflexão fosse causada pelas partes dos corpos refletoras, seria impossível às lâminas finas ou às bolhas, num mesmo lugar, refletir os raios de uma cor e transmitir os de outra, como elas o fazem de acordo com as Observações 13 e 15. Pois não é imaginável que em um lugar os raios que exibem, por exemplo, uma cor azul, devam ter a sorte de deparar com as partes e os que exibem uma cor vermelha devam deparar com os poros dos corpos; e depois que, ao contrário, num outro lugar, onde o corpo é ou um pouco mais espesso ou um pouco mais fino, os azuis devam deparar com seus poros e os vermelhos com suas partes. Finalmente, se os raios de luz refletidos se chocassem com as partes sólidas dos corpos, suas reflexões nos corpos polidos não poderiam ser tão regulares como são. (NEWTON, 1996, p. 201)

Dando continuidade a essas justificativas, Newton afirmou:

Resta pois o problema de saber como o vidro polido por substâncias abrasivas pode refletir a luz tão regularmente quanto o faz. E esse problema dificilmente será resolvido de outra forma que não dizendo-se que a reflexão de um raio é efetuada, não por um único ponto do corpo refletor, mas por algum poder do corpo que está espalhado uniformemente por toda sua superfície e pela qual ele age sobre o raio sem contato imediato. Pois que as partes dos corpos agem sobre a luz à distância será mostrado daqui por diante. (NEWTON, 1996, p. 201)

Na proposição seguinte, Newton definiu o poder do corpo em refletir ou refratar como uma força.

Proposição 9

Os corpos refletem e refratam a luz em virtude de uma mesma força, exercida variadamente em variadas circunstâncias.

Isto se evidencia por diversas considerações. Primeiro, porque quando a luz emerge do vidro para o ar tão obliquamente quanto possível, se sua incidência for tornada ainda mais oblíqua ela se torna totalmente refletida. Pois a força do vidro após ter refratado a luz tão obliquamente quanto possível, se a incidência for tornada ainda mais oblíqua, torna-se muito forte para deixar qualquer de seus raios passar e, por conseqüência, causa reflexões totais. Segundo, porque a luz é alternadamente refletida e transmitida por lâminas finas de vidro através de muitas sucessões, à medida que a espessura da lâmina aumenta numa progressão aritmética. Pois aqui a espessura do vidro determina se a força pela qual o vidro atua sobre a luz fará com que ela seja refletida ou permitirá que seja transmitida. E, terceiro, porque as superfícies dos corpos transparentes que têm o maior poder refrator refletem a maior quantidade de luz, como foi mostrado na proposição 1. (NEWTON, 1996, p. 203)

Portanto, a luz interagiria com os corpos por meio de uma força. Essa interação seria responsável por vários fenômenos, por exemplo, a reflexão total e os “anéis de Newton”. Na proposição 10, Newton detalhou o modo pelo qual essa força agiria sobre os raios de luz, ocasionando a refração. Discutiremos essa proposição na seção 5.1 do capítulo 5. Nas proposições seguintes, elaborou outra explicação para a interação entre a luz e a matéria por meio de uma de suas principais idéias no *Óptica*: o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão da luz.

3.5.4. O conceito de estados da luz

Discutido entre as proposições 12 e 20 da parte 3 do Livro II, o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão representa uma tentativa de Newton em explicar a formação dos anéis coloridos em películas finas e espessas e também as refrações e reflexões parciais dos raios de luz em superfícies de corpos transparentes.

Newton afirmou que os estados eram propriedades originais e inatas dos raios de luz, sendo sua existência comprovada principalmente pelo fenômeno dos anéis de cores em filmes finos. Um estudo minucioso do desenvolvimento desse conceito revela que um de seus pilares conceituais foi a hipótese de vibrações do éter causadas pela luz, discutida no artigo “A hipótese da luz” de 1675. Por isso, antes de analisarmos a argumentação de Newton sobre esse conceito no *Óptica*, faremos algumas considerações sobre o artigo “A hipótese da luz”.

3.5.4.1. O artigo “A hipótese da luz”

A “Hipótese” contém um minucioso tratamento sobre a interação entre a luz e o meio por onde ela se propagaria, o éter. Além disso, apresentou pela primeira vez um forte indício de que Newton acreditava em uma concepção corpuscular para a luz. A idéia de classificar o trabalho como uma hipótese permitiu a Newton discutir seus conceitos sobre o modelo de luz e éter sem entrar em conflito com outras pessoas que estudavam o mesmo assunto na época, como havia acontecido com o artigo de 1672.

Um dos problemas dessa classificação foi que Newton não poderia usar explicitamente as idéias desenvolvidas na “Hipótese” em outros trabalhos, visto que freqüentemente admitia em público que hipóteses não poderiam ser utilizadas para constituir teorias sobre os fenômenos naturais. Talvez por isso, grande parte do conteúdo da “Hipótese” não está presente de forma explícita no *Óptica*.

O éter e sua interação com a matéria e a luz

Logo no início do trabalho, Newton propôs uma hipótese sobre a luz que serviria de base para todo o desenvolvimento de suas idéias ao longo do texto. Em suas palavras:

Fosse eu presumir uma hipótese, ela seria esta, se proposta em termos mais gerais, de modo a não determinar o que é a luz além de [dizer] que ela é uma ou outra coisa capaz de provocar vibrações no éter, pois, desse modo, ela se tornará tão geral e abrangente de outras hipóteses, que deixará pouco espaço para que outras sejam inventadas. (NEWTON, 2002, p. 31)

Nota-se que Newton, mesmo discutindo hipóteses, não defendeu abertamente a materialidade da luz. Segundo ele, o texto era direcionado àqueles que não entenderiam suas teorias sem o uso de hipóteses e que o mesmo não deveria ser confundido com seus outros trabalhos. Isso denota, por um lado, seu comprometimento com uma filosofia natural livre de hipóteses, e por outro, sua insatisfação com as disputas ocasionadas pelo artigo “Nova teoria sobre luz e cores” de 1672 (SILVA & MARTINS, 1997).

Em seguida, Newton estabeleceu cinco considerações a respeito da natureza do éter e de sua interação com a luz:

1. Existiria um meio etéreo no Universo responsável por fenômenos ópticos, elétricos, pela gravitação e outros;
2. O éter seria capaz de sustentar movimentos vibratórios;
3. O éter penetraria nos pequenos poros dos corpos, sendo que o corpo que possuísse menos poros (como o vidro) teria menos éter em sua composição, sendo um meio mais refrator que os outros que possuíam mais poros, como o ar.
4. A luz consistiria em raios sucessivos, que diferiam uns dos outros em aspectos como "grandeza, forma ou vigor".
5. A luz interagiria com o éter. Para Newton, a luz seria capaz de causar vibrações de diversas intensidades no éter, as quais interfeririam no movimento dos raios de luz.

Newton baseou-se nestas cinco considerações sobre o éter e sua interação com a luz para explicar os fenômenos da refração, reflexão e “anéis de Newton”. Ele

desenvolveu dois modelos diferentes neste mesmo trabalho: um baseado nas diferenças de densidade do éter e outro em movimentos vibracionais do éter causados pela luz.

O modelo de vibrações no éter é particularmente importante para essa análise, pois foi a partir dele que Newton explicou os anéis de cores em filmes finos, o que culminaria no conceito de estados da luz no *Óptica*.

Segundo Newton, os raios de luz, ao atingirem a superfície de um corpo, provocariam vibrações no éter existente dentro dele.

[...] E assim, suponho que a luz incidente sobre uma superfície etérea refratora ou refletora a coloque num movimento vibratório pela incidência perpétua dos raios, e que o éter nela existente seja continuamente expandido e comprimido, alternadamente, suponho que, se um raio de luz incidir sobre ela quando estiver muito comprimida, ela será densa e dura demais para permitir que o raio a atravesse e, portanto, irá refleti-lo; mas se os raios que incidem sobre ela noutros momentos, quando ela está expandida pelo intervalo entre duas vibrações, ou não muito comprimida e condensada, atravessam-na e são refratados. (NEWTON, 2002, p. 44)

Sendo assim, as vibrações no éter fariam com que houvesse regiões onde ele estaria mais concentrado, e outras onde ele estaria mais expandido. Os raios de luz, atingindo essas regiões, seriam ou refratados ou refletidos.

Esse modelo era capaz de explicar a refração e a reflexão parciais que ocorrem na superfície de corpos transparentes, ao atribuir as causas desse fenômeno às regiões mais densas ou mais rarefeitas do movimento vibratório. Notemos que as vibrações no éter descritas por Newton surgem em decorrência da interação dos raios de luz com o éter presente no meio material – elas não são a própria luz, como é o caso nas teorias vibracionais e ondulatórias.

Há uma periodicidade implícita nas vibrações no éter, ou seja, à medida que elas se propagam pelo meio, ora estão condensadas ora estão expandidas. Utilizando esses

dois pressupostos (luz provoca vibrações no meio etéreo; dependendo da intensidade da vibração, o raio será refletido ou transmitido), Newton explicou, por exemplo, a refração e reflexão parciais dos raios de luz, quando de suas incidências na superfície de um corpo transparente, e, principalmente, a formação dos anéis coloridos em filmes finos. Para esse último fenômeno, ele incluiu mais uma suposição: as vibrações das partículas de éter se moviam mais rapidamente que os raios de luz que as provocaram. Segundo ele,

[...] embora a luz seja inimaginavelmente veloz, as vibrações etéreas provocadas por um raio movem-se mais depressa que o próprio raio e, desse modo, ultrapassam-no e o superam, uma após outra. (NEWTON, 2002, p. 48)

Dessa forma, Newton explicou o fenômeno dos anéis da seguinte maneira:

[...] se a luz incidir sobre uma película fina ou uma lâmina de qualquer corpo transparente, as ondas ativadas por sua passagem pela primeira superfície, ultrapassando-a uma após a outra, até ela chegar à segunda superfície, farão com que ela seja refletida ou refratada, conforme a parte condensada ou expandida da onda a supere ali, comprimindo ou relaxando esta superfície física e, com isso, aumentando ou diminuindo seu poder de reflexão. (NEWTON, 2002, pp. 48-49)

Esta descrição correspondia aos anéis formados por raios de luz de uma só cor. Quando os raios atingissem a parte mais condensada do movimento vibratório que haviam causado, seriam refletidos, formando um anel brilhante. Se atingissem a parte mais expandida do movimento vibratório, seriam transmitidos, formando um anel escuro, como mostra a figura 3.5.

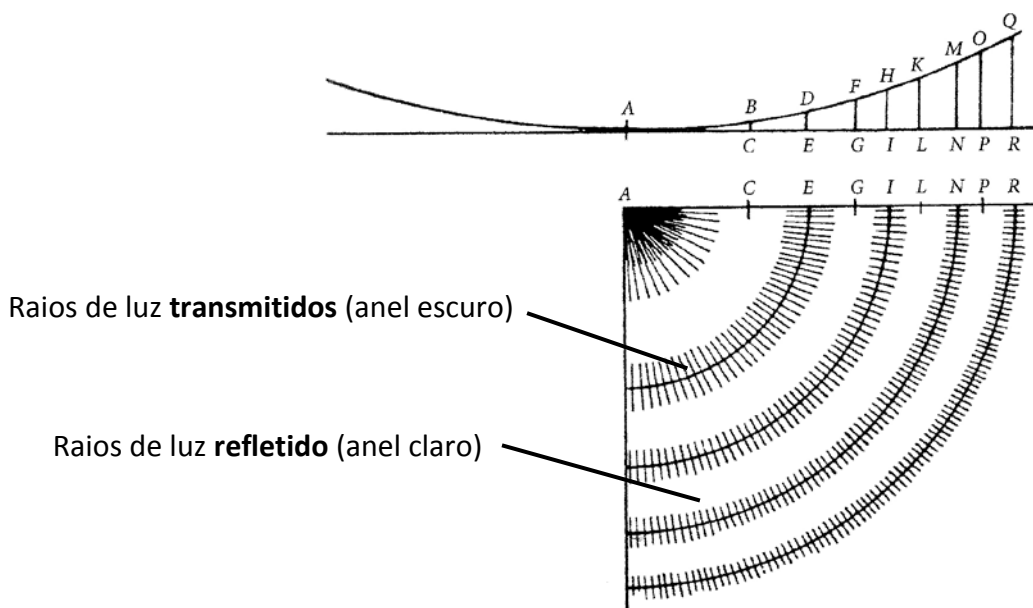


Figura 3.5 – Desenho de Newton na “Hipótese da luz” para ilustrar a formação dos anéis por luz monocromática.

Para estender essa explicação para o caso de incidência de luz branca, Newton afirmou que, assim como as vibrações do ar de tamanhos diferentes eram resultado da propagação de tons sonoros diferentes, os raios coloridos causariam vibrações diferentes no ar.

[...] esses raios, sejam eles o que forem, ao diferirem em magnitude, intensidade ou vigor, provocam vibrações de diversas grandezas; os raios maiores, mais fortes ou mais potentes [provocam] as maiores vibrações, e os outros, vibrações mais curtas, conforme seu tamanho, intensidade ou potência; E então [...] afetam o sentido com várias cores, conforme sua grandeza e mistura [...]. (NEWTON, 2002, p. 46)

Dessa forma, em determinadas situações, as vibrações provocadas pela incidência de luz branca, dependendo de sua intensidade na segunda superfície do filme, refletiriam raios de uma cor e transmitiriam raios de outra cor. Isso explicaria os vários anéis coloridos.

Esta explicação de Newton para a formação dos anéis de cores pela luz branca baseada na hipótese da existência de vibrações provocadas no éter pelos raios de luz permite uma compreensão qualitativa dos fenômenos da refração e reflexão alternadas e dos “anéis de Newton”. Contudo, esse modelo não explica a reflexão total do raio de luz. Newton não relacionou a intensidade das vibrações produzidas pelos raios com os seus ângulos de incidência sobre a superfície. Sendo assim, se os raios de luz excitam vibrações no éter que, dependendo de sua intensidade, permitem que os raios sejam transmitidos ou não, não é possível conceber a partir das explicações de Newton a idéia de que a partir de uma determinada inclinação do raio de luz, as vibrações do éter excitadas por esses raios sejam tão concentradas a ponto de fazer com que os raios sejam apenas refletidos.

Além disso, mesmo sendo, a princípio, uma boa explicação, a idéia de vibrações no éter é de natureza puramente hipotética. Sendo assim, pelo fato de Newton usualmente defender uma postura indutivista, ele não poderia utilizar essa explicação no *Óptica*.

Notamos que, para tentar solucionar este problema e evitar o uso de hipóteses, Newton substituiu as idéias sobre o éter pelo conceito de estados da luz. No entanto, veremos que essa substituição também apresentou problemas, pois a teoria dos estados de fácil transmissão e fácil reflexão carregou o mesmo forte caráter especulativo das idéias da “Hipótese”.

3.5.4.2. Os estados da luz no *Óptica*

Após discutir a opacidade, transparência e cores dos corpos naturais e a interação da luz com a matéria por meio de forças, Newton definiu o conceito de estados da luz, entre as proposições 12 e 13 da parte 3 do Livro II:

Definição

Chamarei de estados de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados. (NEWTON, 1996, p. 212)

O raio de luz que estivesse em um estado de fácil transmissão assim que atingisse a segunda superfície do filme fino, seria transmitido e o raio de luz que estivesse em um estado de fácil reflexão seria refletido. Dependendo da espessura do filme, os raios de luz estariam em um desses estados, podendo ser transmitidos ou refletidos, processo que se repetiria com o incremento de quantidades proporcionais de espessura. Sendo assim, se um raio de luz monocromática atingisse o filme fino, ora ele estaria num estado de fácil transmissão ora num estado de fácil reflexão e, dependendo da espessura, ocasionaria o surgimento sucessivo de anéis escuros e coloridos na cor do raio, respectivamente. Por meio desse conceito, Newton explicou dois fenômenos: os anéis coloridos em filmes finos e espessos e as refrações e reflexões parciais em superfícies de corpos transparentes.

Segundo ele, os anéis de cores em películas finas seriam causados por reflexões e refrações alternadas dos raios de luz. Na observação 15 da primeira parte do Livro II, Newton comentou sobre essa questão, apresentando uma figura para representar como essa alternância entre reflexões e refrações ocorreria.

Observação 15

[...] E disso se evidencia a origem desses anéis, a saber, que o ar entre os vidros, de acordo com sua espessura variada, está disposto em alguns lugares para refletir – e em outros para transmitir – a luz de qualquer cor [...] e no mesmo lugar para refletir a luz de uma cor onde ele transmite a de outra cor. (NEWTON, 1996, p. 168)

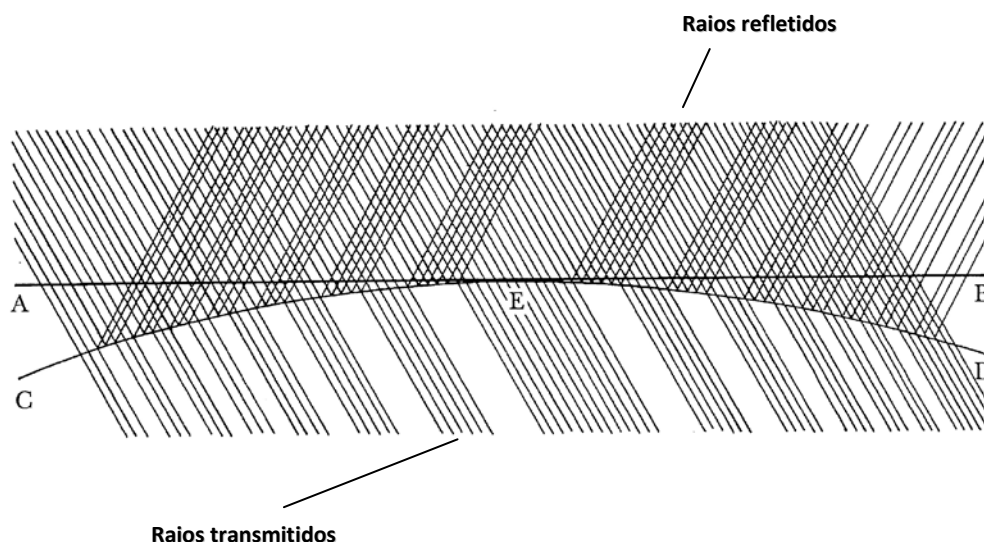


Figura 3.6 – Esquema de Newton no *Óptica* para ilustrar as reflexões e refrações alternadas dos raios de luz, ocasionando a formação dos anéis coloridos em películas finas.

Nessa observação, nota-se que Newton atribuiu a reflexão e refração alternadas nas películas finas ao ar. No entanto, na proposição 12, Newton retomou essa argumentação, atribuindo aos estados da luz – a “constituição ou estado transitório” – a causa dessa alternância.

Proposição 12

Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela. (NEWTON, 1996, p. 210)

No caso de incidência de luz monocromática sobre um filme fino de ar, os anéis alternadamente coloridos e pretos seriam explicados facilmente pelo conceito de estados. Em uma determinada espessura, os raios estão em um estado de fácil transmissão, formando um anel preto; em outra, os raios estão em um estado de fácil

reflexão, formando um anel colorido. No caso da luz branca, anéis de diversas cores seriam formados tanto por transmissão quanto por reflexão, visto que alguns raios coloridos estavam em um estado de fácil transmissão, e outros em um estado de fácil reflexão.

De modo semelhante, Newton utilizou os estados para explicar as reflexões e refrações parciais na superfície de corpos transparentes na proposição 13.

Proposição 13

O motivo pelo qual as superfícies de todos os corpos espessos transparentes refletem parte da luz que sobre ele incide e refratam o restante é que alguns raios, em sua incidência, estão em estados de fácil reflexão e outros em estados de fácil transmissão. (NEWTON, 1996, p. 212)

Nas proposições seguintes, Newton retomou a discussão sobre os anéis em filmes finos, utilizando os estados para explicar alguns resultados das observações realizadas na parte 1 do Livro II. Por essa breve leitura sobre o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão, parece claro que Newton conseguiu eliminar a idéia de vibrações no éter. Afinal, os raios de luz possuiriam os estados e isso era suficiente para explicar a alternância de refrações e reflexões que resultariam nos anéis e também as refrações e reflexões parciais. Por serem totalmente comprovados pelos experimentos, os estados estariam livres de hipóteses, se configurando como uma das mais importantes idéias newtonianas. No entanto, os estados também guardam um caráter hipotético, pois foram elaborados por Newton para explicar os anéis e não há outras evidências de que eles realmente sejam mais uma propriedade da luz, como a refrangibilidade ou cor.

3.5.5. Os problemas no Livro II

Pela leitura da análise de algumas partes do Livro II feita acima, aparentemente Newton construiu uma ótima argumentação sobre as propriedades visuais dos corpos (opacidade, transparência e cores), sobre a interação desses com a luz e sobre os estado de fácil transmissão e fácil reflexão. Entretanto, uma análise detalhada do discurso newtoniano revela diversos aspectos problemáticos imersos nele.

Nessa seção apresentaremos essa análise. De uma forma geral, ela indicará que as hipóteses desempenharam um papel fundamental na composição do texto do Livro II, salientando que Newton utilizou metodologias não baseadas inteiramente na experimentação em seus estudos. Veremos que essa contradição (ele defendia uma Filosofia Natural somente baseada na indução, mas utilizava outras quando conveniente) foi crucial para que o Livro II se tornasse uma parte do *Óptica* repleta de problemas.

3.5.5.1. O método da “transdução”

Na seção 3.5.2. vimos que Newton atribuiu as causas da opacidade e transparência dos corpos às reflexões internas nas partes e poros desses corpos. Essas reflexões ocorreriam devido a diferença de densidade entre partes e poros e ocorreriam até um tamanho limite para eles. Entretanto, a relação estabelecida por Newton entre as reflexões internas entre as partes e poros e o tamanho dos corpos apresenta problemas.

Se há reflexão entre quaisquer superfícies de dois corpos de densidade diferente, não haveria motivo pelo qual essa reflexão não ocorresse quando o tamanho desses corpos diminuísse, visto que a diferença de densidade entre eles continuaria a existir. Dessa forma, baseando-se na relação entre “densidade de dois corpos” e “ocorrência da

reflexão” descrita por Newton na proposição 1, reflexões internas nas superfícies entre partes e poros aconteceriam mesmo que o corpo fosse feito bem fino, conseqüentemente, diminuindo o tamanho das partes e dos poros. Newton não esclareceu essa questão.

Do mesmo modo, há um problema implícito na analogia que Newton estabeleceu entre as cores dos corpos naturais e os anéis coloridos em filmes finos. Essa analogia não é tão intuitiva e evidente como ele colocou, pois esses dois fenômenos supostamente análogos são notadamente muito diferentes e ocorrem em situações claramente distintas.

O fato é que, a fim de construir essas proposições sobre a opacidade e transparência dos corpos e as seguintes, sobre as cores, Newton utilizou implicitamente um método que o historiador Alan E. Shapiro chamou de transdução (SHAPIRO, 1993, pp. 40-48). A transdução é um método pelo qual as leis e propriedades dos corpos macroscópicos são utilizadas para caracterizar o comportamento das partículas microscópicas imperceptíveis dos corpos. Para exemplificar esse método, eis um argumento simples: suponhamos que um objeto seja vermelho. Podemos supor que esse objeto é vermelho porque as partículas que o compõem refletem principalmente os raios de luz correspondentes à cor vermelha. Dessa forma, estamos partindo de uma propriedade macroscópica (um objeto vermelho) para deduzir uma propriedade microscópica (as minúsculas partículas dos objetos refletem somente raios de cor vermelha). Essa dedução é uma suposição não baseada, a princípio, em uma verificação experimental. Como vimos na seção 3.5.2, Newton utilizou um argumento semelhante para discutir as cores dos corpos.

Nas proposições analisadas na seção 3.5.2, ficou aparentemente claro que Newton utilizou o método da transdução. No caso das reflexões internas isso é facilmente

observado: primeiramente, por meio da observação de um raio sendo refletido na interface de meios de densidades diferentes, ele supôs que o mesmo poderia ocorrer nas partes microscópicas dos corpos. Segundo, ao notar que os corpos quando feito muito finos, se tornam transparentes, ele possivelmente concluiu que as partes microscópicas dos corpos seriam opacas até certo tamanho. Terceiro, ao perceber que o papel quando molhado tornava-se transparente – e que fatos semelhantes aconteciam com outros corpos em outras situações – ele teria suposto que os corpos seriam compostos tanto por partículas de matéria quanto por poros. Dessa forma, ele discutiu propriedades microscópicas da matéria por meio de situações macroscópicas. O mesmo se aplica ao caso das cores e sua relação com os anéis: a relação entre as explicações desses dois fenômenos foi resultado de um exercício de elaboração de hipóteses baseadas na transdução, não levando em conta as diferenças entre ambos, apenas as semelhanças. Isso indica que Newton **utilizou metodologias não totalmente empíricas** em sua óptica.

Além disso, a utilização da transdução resultou em obstáculos cruciais na relação entre reflexões internas e densidade das partes e poros nos corpos e na analogia entre suas cores e os anéis. A presença dessa metodologia é um aspecto extremamente importante da óptica newtoniana, pois revela que Newton não conduziu seu discurso partindo somente do indutivismo – e nem poderia. As hipóteses desempenharam um papel importante nas suas discussões sobre as propriedades dos corpos. Evidentemente, isso foi feito de forma implícita, pois somente uma análise criteriosa de seu discurso aponta para isso.

3.5.5.2. As várias explicações para a refração e reflexão

Entre suas idéias sobre as propriedades visuais dos corpos e aquelas sobre os estados da luz, passando por suas explicações sobre a interação da luz com a matéria por meio de forças, Newton apresentou três explicações para a refração e a reflexão. Todas elas sem relação umas com as outras.

Na proposição 1, Newton afirmou que a refração e a reflexão seriam causadas pela diferença de densidade entre os corpos. Por meio dessa idéia, ele explicou a opacidade e transparência. Porém, nas proposições 5, 6 e 7, ao falar sobre as cores dos objetos, ele não mencionou mais a densidade entre partes e poros, estabelecendo apenas que os tamanhos das partículas seriam responsáveis pela reflexão de raios de luz de determinadas cores.

Nas proposições 8, 9 e 10, Newton elaborou outra explicação para a refração e reflexão: a existência de forças entre a luz e a matéria. Embora ele não tenha detalhado a causa desta força, a princípio, essa explicação parece plausível. No entanto, ela é totalmente independente das explicações para a opacidade, transparência e cores dos corpos – baseadas no tamanho das partículas dos corpos e na diferença de densidade entre as partículas e poros. A partir da proposição 12, Newton apresentou novamente outra explicação por meio do conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão.

A multiplicidade de explicações é evidente e extremamente problemática no texto do Livro II. Newton apresentou ao longo de seu discurso vários argumentos complicados e sem relação uns com os outros, tornando suas idéias um emaranhado de hipóteses desconexas.

Esse fato nos leva a concluir que por meio de uma argumentação linear e objetiva, Newton foi capaz de obscurecer os pontos problemáticos de seu discurso, tornando-os praticamente imperceptíveis em uma leitura menos crítica. Aqui também há

um aspecto importante da NdC, que não é discutido explicitamente nos trabalhos sobre o assunto. Trata-se do estilo de argumentação utilizado na comunicação dos resultados científicos. Ao selecionar alguns elementos de suas pesquisas e narrá-los de forma linear, ressaltando o que deu certo e escondendo as dificuldades e detalhes, Newton de certa forma induz os leitores a acreditarem na validade de suas palavras de forma quase unânime. Tal forma de apresentação ainda é muito recorrente nos dias atuais. As teorias e experimentos são em geral, narrados de forma linear, reconstruindo os passos da pesquisa organizados racionalmente, ressaltando o que deu certo e escondendo as dificuldades, conjecturas refutadas e experimentos fracassados. Esse debate, bem conhecido no âmbito filosófico, aborda as diferenças entre os vários tipos de linguagens utilizadas na criação e na divulgação de resultados para a comunidade (PIETROCOLA, 2005).

3.5.5.3. As origens e natureza dos estados da luz

O estudo do desenvolvimento do conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão mostra que Newton não o elaborou repentinamente, sendo esse resultado dos estudos apresentados em “A hipótese da luz”. Pelo caráter especulativo de suas discussões nesse artigo, ele possivelmente viu-se obrigado a não utilizá-las no *Óptica*. Entretanto, ele não só as utilizou implicitamente, como essa manobra resultou em um conceito de estados da luz inconsistente e contraditório.

Numa análise superficial, os estados parecem satisfatórios e de fácil entendimento. Contudo, no estudo detalhado das proposições de 12 a 20, encontramos diversos problemas e inconsistências na definição e usos deste conceito. Vamos repetir algumas dos trechos que citamos na seção 3.5.4.2 para corroborar essa conclusão.

Um dos aspectos problemáticos dos estados é sua origem. Inicialmente, Newton defendeu na Proposição 12, que os estados **não** são propriedades inatas dos raios de luz, como as cores, mas sim uma propriedade adquirida após a interação da luz com uma superfície transparente.

Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, **assume** uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente transmitido por ela. (NEWTON, 1996, p. 210, grifo nosso)

Dessa forma, quando o raio atravessasse a superfície ele adquiriria a propriedade de ser refletido ou refratado, ou seja, ela não seria uma propriedade inata dos raios.

Contudo, na proposição 13, Newton escreveu justamente o contrário: os estados seriam propriedades inatas dos raios de luz. Ele não apenas contrariou o que havia dito na proposição 12, como foi contraditório na mesma proposição.

Proposição 13

O motivo pelo qual as superfícies de todos os corpos espessos transparentes refletem parte da luz que sobre ele incide e refratam o restante é que alguns raios, **em sua incidência**, estão em estados de fácil reflexão e outros em estado de fácil transmissão.

[...] Portanto, a luz se acha em estados de fácil reflexão e fácil transmissão antes de incidir sobre os corpos transparentes. E provavelmente **ela assume esses estados na sua primeira emissão dos corpos luminosos e continua neles durante toda sua trajetória**.

Nesta proposição, suponho que os corpos transparentes são espessos; porque, se a espessura do corpo for muito menor do que o intervalo dos estados de fácil reflexão e transmissão dos raios, o corpo perde seu poder refletor. Pois se os raios, **que ao entrarem no corpo assumem estados de fácil transmissão**, chegam à superfície mais distante do corpo antes de perder esses estados, eles devem ser transmitidos. E esta é a razão pela qual as bolhas de água perdem seu poder refletor quando se tornam muito finas; e também a razão pela qual todos os corpos opacos, quando

divididos em partes muito pequenas, se tornam transparente. (NEWTON, 1996, p. 212-3, grifo nosso)

Como vemos, na mesma proposição Newton se complicou, ora afirmando que os raios de luz assumiriam seus estados logo ao serem emitidos pelo corpo luminoso ora afirmando que os raios adquiririam os estados ao entrarem no corpo refrator. Além disso, ele não abordou a diferença de densidade e outras propriedades dos corpos – tratadas nas proposições anteriores –, assumindo que todos eles refletem e transmitem parte da luz devido aos estados.

Outro problema sobre o conceito de estados da luz reside nas explicações dadas por Newton sobre a natureza deles. Na proposição 12, Newton propôs uma hipótese para explicar microscopicamente a interação da luz com a matéria, a qual produziria os estados.

Que tipo de ação ou tendência é esta, se consiste num movimento vibratório do raio, ou do meio, ou de alguma outra coisa, não o indago aqui. Aqueles que se negam a admitir quaisquer novas descobertas, exceto as que conseguem explicar por uma hipótese, poderão supor que [...] os raios de luz, chocando-se com qualquer superfície refratora ou refletora, **produzem vibrações no meio ou substância refratora e refletora** e, assim fazendo, agitam as partes sólidas dos corpos refrator ou refletor e [...] que as vibrações assim produzidas se propagam no meio ou substância refratora ou refletora da mesma maneira que as vibrações se propagam no ar para causar o som e se movem mais rápido do que os raios, de modo a ultrapassá-los; e que, quando qualquer raio está naquela parte da vibração que contribui para seu movimento, ele irrompe facilmente através de uma superfície refratora, mas quando está na parte oposta da vibração, que lhe impede o movimento, é facilmente refletido; e, por conseqüência, que todo raio tende sucessivamente a ser facilmente refletido ou facilmente transmitido por toda vibração que o ultrapassa. **Mas se tal hipótese é verdadeira ou falsa é coisa que não considero aqui.** Contento-me com a simples descoberta de que os raios de luz tendem alternadamente, por uma ou outra razão, a ser refletidos ou refratados por

um grande número de mudanças regulares. (NEWTON, 1996, p. 211-2, grifo nosso)

Essa explicação é muito semelhante às idéias de vibrações no éter discutidas na “Hipótese”. Contudo, nota-se que Newton substituiu o meio etéreo pelo próprio meio material do corpo, e não se comprometeu com essa hipótese. Isso indica claramente que Newton foi obrigado a incluir conceitos hipotéticos em seus trabalhos para justificar alguns de seus argumentos.

Na *Questão 29* do Livro III, Newton elaborou outra idéia para explicar a natureza dos estados, novamente considerando a possibilidade deles estarem relacionados com vibrações. Entretanto, dessa vez ele uniu essas idéias com o conceito de forças entre os corpos e os raios de luz.

Para colocar os raios de luz em estados de fácil reflexão e fácil transmissão, basta que eles [os raios de luz] sejam corpúsculos que por seus poderes de atração, ou por alguma outra força, excitem vibrações naquilo que agem, vibrações estas que, sendo mais rápidas do que os raios, os ultrapassem sucessivamente e os agitem de modo a aumentar e diminuir alternadamente suas velocidades, colocando-os assim nesses estados. (NEWTON, 1996, p. 272)

Outro ponto complicado sobre o conceito de estados é o fato de ele não ser suficiente para explicar a reflexão total. O conceito de estados da luz da maneira definida por Newton no *Óptica*, assim como o modelo de vibrações no éter descrito na “Hipótese”, não conseguiria explicar a reflexão total, pois não haveria nenhuma razão para que os raios de luz, ao passarem de um meio mais denso (o vidro) para um meio mais rarefeito (o ar), estivessem todos em estados de fácil reflexão. Além do mais, o que determina se um raio sofrerá reflexão total são os índices de refração dos meios e o ângulo de incidência. Essas variáveis já eram conhecidas no século XVII, mas nenhuma

delas foi levada em conta no modelo proposto por Newton, uma vez que a disposição para ser refletido seria uma propriedade do raio.

Por essa análise, notamos que o conceito de estados da luz foi desenvolvido por Newton com o objetivo de explicar fenômenos como os anéis coloridos em películas finas e a refração e reflexão parciais sem a utilização de hipóteses. No entanto, essa meta não foi atingida de forma satisfatória, sendo o conceito de estados mais uma explicação entre várias introduzidas por Newton no Livro II para tratar a interação da luz com a matéria.

3.6 Algumas considerações sobre a óptica de Newton

Ao longo das seções anteriores, acompanhamos o desenvolvimento da óptica de Newton até a publicação do *Óptica*. Discutimos alguns aspectos gerais dos Livros I e III e realizamos uma análise detalhada do conteúdo do Livro II. Por esse estudo, foi possível notar que a óptica newtoniana envolve aspectos muito mais complexos que geralmente se acredita, os quais deixam claro algumas particularidades do processo de construção do conhecimento científico.

Newton desenvolveu sua óptica em um tempo em que os estudos sobre a natureza da luz e sobre os fenômenos ópticos eram muito comuns. Vários filósofos naturais do período elaboraram teorias para explicar o comportamento da luz; Newton não estava sozinho nessa empreitada. Pelo contrário, ele leu e estudou muitas dessas teorias de outros filósofos naturais, sendo fortemente influenciado por elas em seus estudos. Do mesmo modo, Newton leu trabalhos relacionados a outras formas de conhecimento sobre o mundo natural, como religião e alquimia. Não podemos, com o presente estudo, saber exatamente quanto estas leituras influenciaram sua óptica, mas há vários trabalhos

que discutem a influência sobre sua teoria da gravitação universal (MANUEL, 1974; DOBBS, 1984; FORATO, 2006).

Dessas leituras e estudos, surgiram as primeiras especulações de Newton sobre a luz e os fenômenos ópticos. Inicialmente dominada somente por análises qualitativas, a óptica newtoniana foi tomando forma ao longo dos anos, chegando a uma grande sofisticação matemática, como a exibida no *Optical lectures*. Nesse processo, muitas falhas, contradições e erros foram cometidos, criando caminhos para que ele tivesse novas idéias e elaborasse outras teorias. Além disso, sua óptica não ficou imune às críticas de outros filósofos naturais da época de seu desenvolvimento. Isso gerou, por muitos anos, controvérsias e disputas entre as teorias de Newton e outras diferentes.

A composição final – embora ainda incompleta – da óptica newtoniana viria somente com a publicação do *Óptica* em 1704 e de suas outras edições nos anos seguintes. No entanto, mesmo em sua obra final sobre óptica, Newton enfrentou dificuldades em construir um conjunto completo e coerente de explicações para a interação da luz com a matéria.

Envolvido por uma aura indutivista, o *Óptica* revela, principalmente pelo Livro I, a intenção de Newton em coordenar uma série de experimentos e deles – somente deles – adquirir explicações aparentemente satisfatórias sobre os fenômenos ópticos. Isso ressaltaria que o caminho para a construção de um conhecimento correto sobre o mundo só poderia ser pela experimentação, e não pelo uso de hipóteses, algo comumente apregoado por Newton. No entanto, uma leitura minuciosa deixa claro que Newton não seguiu o indutivismo que freqüentemente defendeu para seus trabalhos, principalmente se voltarmos nossa atenção ao Livro II. O estudo crítico desse livro revelou uma importante face da óptica de Newton.

Embora na primeira parte do Livro II, Newton tenha conseguido tratar experimentalmente o fenômeno dos anéis de cores em filmes finos – chegando a calcular a espessura do filme –, nas partes seguintes Newton embarcou num discurso obscuro e contraditório.

Newton enfrentou problemas ao explicar a opacidade e transparência dos corpos, ignorando-os posteriormente ao discutir as cores dos corpos. Ao propor uma analogia entre as causas dessas cores e dos anéis coloridos em películas finas, ele não se ateu às várias diferenças óbvias entre esses dois fenômenos. Em seguida, num tratamento com caráter mecânico da interação entre a luz e a matéria, Newton afirmou que esta se daria por uma força, ignorando as idéias anteriores.

Finalizando o Livro II, Newton expôs o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão, numa notável tentativa de se livrar do caráter especulativo de suas proposições. Entretanto, uma análise detalhada de seu desenvolvimento – desde a forma inicial na “Hipótese” até sua definição final no *Óptica* – deixou claro que ela foi construída sobre bases não muito sólidas. Ele não foi capaz de explicar a origem e natureza dos estados.

Tudo isso denota a complexidade presente no Livro II. Obviamente, a pluralidade de idéias e metodologias usadas por Newton está encoberta por um discurso indutivista ágil e objetivo, o qual se revela inconsistente numa análise mais profunda. A partir do próximo capítulo, buscaremos compreender como esses aspectos do Livro II – e, de forma geral, a óptica de Newton – foram recebidos pelos filósofos naturais do início século XVIII.

4

A popularização da óptica de Newton

A fama de Newton é universal. Sua vida e suas realizações são protagonistas de inúmeros estudos históricos e sua imagem é praticamente o retrato oficial de uma forma rigorosa de busca de verdades acerca do mundo natural, estando presente na capa de diversos livros didáticos, científicos e de divulgação. Conhecido comumente como uma pessoa rígida e extremamente ligada às suas convicções, Newton continua sendo lembrado como um indivíduo obstinado pela busca de um conhecimento ainda não alcançado.

Estudos históricos recentes indicam que essa fama foi produto de um processo amplo de popularização de Newton e de suas obras ocorrido ao longo do século XVIII e que continuou nos períodos seguintes (FARA, 2002). Esse processo esteve relacionado às mudanças que ocorreram em diversos segmentos da sociedade britânica nas primeiras décadas desse século, que se refletiram em outras partes da Europa. Imbricada a essas mudanças, estavam novos valores atribuídos à Filosofia Natural e ao conhecimento advindo dela.

Neste capítulo, discutiremos alguns fatores que marcaram esse processo de popularização de Newton na Grã-Bretanha e em alguns países da Europa e como isso influenciou a repercussão de sua óptica, particularmente o conteúdo do Livro II do *Óptica*.

4.1. A difusão das idéias newtonianas

Entre as diversas mudanças que ocorreram na Grã-Bretanha no início do século XVIII, uma em particular pode ser considerada a peça crucial para a popularização da óptica de Newton: os novos valores atribuídos à Filosofia Natural. Aos poucos, ela começou a assumir uma forma independente e mais complexa, distante de suas bases

filosóficas (GASCOIGNE, 2003). Um detalhe importante nesse período foi o surgimento de uma forte tendência por parte dos filósofos naturais em difundir o conhecimento advindo dos estudos sobre o mundo. Imbricado a ela, estava a marcante influência do indutivismo, apregoado por Bacon anos atrás.

Nesse sentido, a imagem indutivista que a óptica de Newton carregava e o seu próprio retrato como um filósofo natural comprometido com a busca pelas verdades sobre o mundo se ajustavam quase que perfeitamente. Esse foi um dos elementos que impulsionaram a ampla popularização da filosofia natural newtoniana, que compreendeu a difusão de sua mecânica²³. Devido a esses fatores, foi se desenvolvendo um processo na comunidade intelectual britânica para tornar Newton um ícone, um modelo a ser seguido. Enquanto no século XVII, na época de suas principais publicações, Newton era somente conhecido por alguns poucos filósofos naturais, no final do século XVIII ele já havia se tornado um “herói nacional” (FARA, 2002, p. 58).

A denominação de Newton como um “gênio da ciência” também começou a ser edificada na primeira metade do século XVIII. Antes desse período, “gênio” era uma pessoa geniosa, habilidosa para realizar alguma coisa. Provavelmente, poucos coetâneos de Newton o chamavam dessa forma. No entanto, poucas décadas depois, o termo “gênio” começou a ser utilizado para definir um tipo de pessoa à parte da sociedade, um ser com características únicas e quase divinas (FARA, 2002, p. 15). Newton foi incorporado nessa definição.

Vários fatores participaram ativamente da construção de Newton como um “herói nacional” na Grã-Bretanha do início do século XVIII. Por exemplo, inúmeros quadros

²³ Nesse capítulo, não discutiremos em detalhes a difusão das idéias de Newton sobre mecânica, focando nossa argumentação somente no papel de sua óptica nesse processo. Entretanto, no capítulo 5, ao abordarmos a união que seus seguidores fizeram entre sua óptica e sua mecânica, ficará claro que essas duas vertentes de sua filosofia natural foram amplamente divulgadas pelos filósofos naturais do início do século XVIII. Para mais detalhes sobre a popularização da mecânica newtoniana, ver, por exemplo, Cohen (1963), Casini (1988) e Cohen & Westfall (2002).

de Newton foram se espalhando em solo britânico, principalmente aqueles feitos por Godfrey Kneller (1646-1723). Essas pinturas se tornaram excelentes presentes para os filósofos naturais – algumas delas dadas pelo próprio Newton para se promover. Elas enfeitavam as casas e palácios, representando e divulgando a hegemonia da filosofia natural newtoniana (FARA, 2002, pp. 30-38).



Figura 4.1 - Retratos de Newton pintados por Kneller, respectivamente, em 1689 e 1702. Esses quadros tornaram-se muito populares nas primeiras décadas do século XVIII.

A imagem de Newton na forma de estátuas, gravuras e moedas começou a se tornar comum entre a população britânica educada. Estátuas, gravuras e moedas o retratando são alguns exemplos. Biografias exaltando-o como um ser além das capacidades normais dos humanos também se tornaram meios para celebrar a filosofia

natural newtoniana. Nessa questão, a biografia com tons hagiográficos²⁴ de John Conduitt (1688-1737)²⁵ desempenhou um papel importante (FARA, 2002, p. 39).



Figura 4.2 – Gravura de William Stukeley (1687-1765), desenhada por volta de 1720, retratando Newton de perfil, como um imperador romano. Desenhos como esse se tornaram comuns no início do século XVIII, a fim de popularizar a imagem de Newton.

Outro fator importante para a popularização da obra de cunho científico de Newton e, conseqüentemente, de sua óptica foram as enciclopédias que vieram suprir o anseio pela difusão do conhecimento para um público um pouco mais amplo. Pelo fato das idéias de Newton serem cada vez mais aceitas, elas fundamentaram boa parte dos textos das enciclopédias voltadas à classificação de termos relacionados à Filosofia Natural. Uma das principais foi o *Lexicon Technicum*²⁶ de John Harris (1666-1719).

²⁴ A palavra “hagiografia” significa, literalmente, a biografia de santos, beatos ou devotos de Deus. Nós a utilizamos como uma derivação muito freqüente para esse significado, a qual diz que uma hagiografia é uma biografia excessivamente elogiosa.

²⁵ Conduitt foi marido de Catherine Barton (1679-1740), sobrinha de Newton, com quem ele teve uma relação muito próxima nos últimos anos de sua vida. Para mais detalhes, ver Westfall (1980, pp. 595-601) e Gjersten (1986, pp. 55-58).

²⁶ Estudaremos essa obra no capítulo 5.

Além disso, mudanças na educação também formaram um caminho para a divulgação das idéias de Newton e a popularização de sua imagem como “herói nacional”. No século XVII, a educação estava muito ligada às bases religiosas e filosóficas da época e era restrita a membros de classes privilegiadas da sociedade (HANS, 1998, p. 11; pp. 34-35). Ou seja, o conhecimento estava ao alcance de poucos, sendo uma fonte de admiração e inspiração para a elite intelectual. Já no século XVIII, essa postura restritiva começou a mudar. A valorização da Filosofia Natural como produto cultural e suas aplicações práticas a aproximou de grupos de pessoas tais como construtores de instrumentos científicos, tecelões, relojoeiros, ferreiros, entre outros (HANS, 1998, p. 12). Isso esteve relacionado com o desenvolvimento da tecnologia nesse período, pois grandes investimentos foram feitos para que as pessoas soubessem aplicar na prática diversos conceitos newtonianos, a fim de aprimorar, por exemplo, técnicas de navegação (STEWART, 1986a).

Esses acontecimentos impulsionaram um dos principais fatores para a ampla propagação das idéias de Newton em solo britânico e europeu de uma forma geral: as conferências de filósofos naturais para audiências populares. Imersas nesse contexto de transformações, elas proporcionavam um caminho para um contato superficial com o conhecimento advindo da Filosofia Natural, condizente com os objetivos da época.

Por meio de experimentos de fácil manuseio e entendimento, as conferências populares apresentavam a filosofia natural como um conjunto de verdades indubitáveis sobre a natureza (TURNER, 2003, p. 521). Idéias muito complicadas não eram discutidas, apenas aquelas com forte apelo sensorial e bastante impressionantes eram exploradas. Um dos principais conferencistas do início do século XVIII foi John Teophilous Desaguliers (1683-1744).

Adepto e importante defensor das idéias de Newton²⁷, Desaguliers incorporou em suas conferências informações práticas da filosofia natural – como o uso de lentes para corrigir a visão – com discussões sobre o funcionamento da natureza (CANTOR, 1983, p. 44). Seus cursos eram freqüentados por vários tipos de pessoas, entre clérigos, artesãos, nobres, entre outros; e se tornaram um modelo para as conferências populares do período (HANS, 1998, pp. 140-41). Desaguliers tinha um motivo muito particular para popularizar as idéias newtonianas e a Filosofia Natural de um modo geral. No início do século XVIII, a Maçonaria estava num período de transição. Relações internacionais foram interrompidas devido às várias guerras no continente europeu e as várias lojas maçônicas perderam contato umas com as outras, sendo que grande parte delas não tinha filosofias e objetivos definidos. A situação começou a mudar com a intervenção da ordem Rosa-cruz, fazendo com que o objetivo de difusão do conhecimento dos rosacrucianos se tornasse o ponto central da nova Maçonaria. Desaguliers foi o pioneiro e líder desse movimento, almejando a propagação do conhecimento por meio de suas conferências populares (HANS, 1998).

O tipo de curso proferido por Desaguliers foi rapidamente difundido pela Grã-Bretanha nas primeiras décadas do século XVIII. Por isso, vários outros conferencistas desenvolveram cursos semelhantes ao dele, por exemplo, Richard Helsham (1682-1738) e John Rowning (1701?-1771).

Nessas conferências, eram abordados tópicos de áreas como eletricidade, calor, mecânica e óptica. No que se refere a essa última, as conferências de Desaguliers – e conseqüentemente de outros filósofos naturais – procuraram apresentar e divulgar simultaneamente uma óptica fortemente baseada na indução e uma concepção corpuscular para a luz.

²⁷ Desaguliers publicou na época dois artigos nas *Philosophical Transactions* em que repetiu alguns experimentos de Newton, defendendo suas validades. Ver Desaguliers (1716a), Desaguliers (1716b) e Desaguliers (1722).

Nesse cenário, partes da óptica de Newton se ajustaram prontamente, principalmente as teorias e experimentos do Livro I e as discussões sobre a materialidade da luz do Livro III do *Óptica* e sobre forças entre os corpos dos *Principia*. Apresentando um corpo de explicações sobre os fenômenos ópticos sob a perspectiva do empirismo, alguns conteúdos desses livros formaram a base teórica e experimental das conferências sobre óptica. Para demonstrar a validade desses argumentos, os conferencistas geralmente afirmavam que outras teorias disponíveis na época para a luz, como as de Hooke e Huygens, mas principalmente as de Descartes, não explicavam satisfatoriamente todos os fenômenos que a teoria corpuscular elaborada por Newton explicava (CANTOR, 1983, p. 42).

Fenômenos cujo tratamento necessitaria de uma análise mais complicada do comportamento da luz eram discutidos brevemente, por exemplo, aqueles tratados no Livro II do *Óptica*. Para abordá-los, geralmente os conferencistas meramente repetiam os argumentos de Newton nesse Livro. Além disso, as conferências não continham discussões sobre partes da óptica newtoniana que não poderiam ser incorporadas nesse modelo dinâmico para a luz, como o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão.

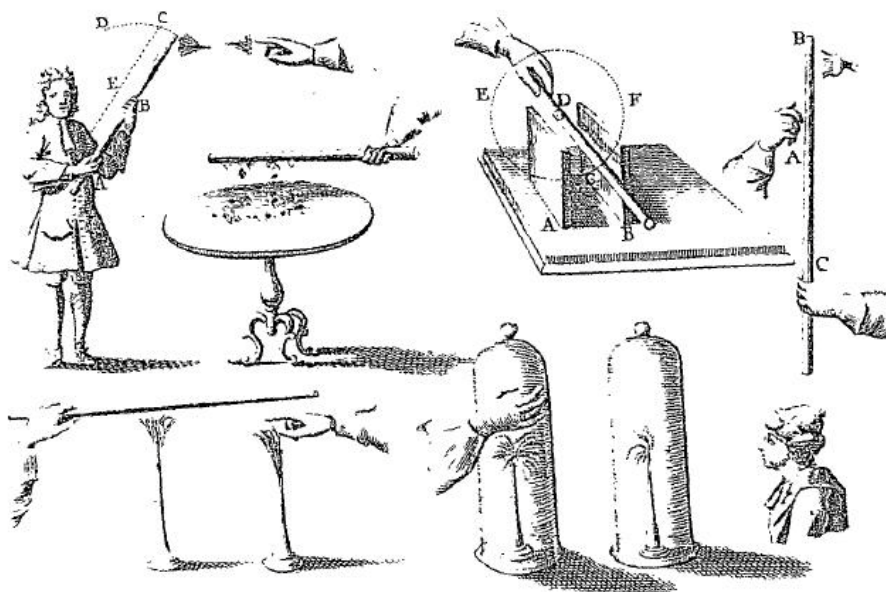


Figura 4.3 – Desenho do livro *A course of experimental philosophy* (1734-44) de Desaguliers, ilustrando alguns experimentos utilizados em suas conferências.

Como vemos, no início do século XVIII, uma complexa rede de relações entre a sociedade e a filosofia natural impulsionou a popularização de Newton e de sua filosofia natural. Propagando uma imagem idealizada dos feitos newtonianos, essa forte tendência em torná-lo um “herói nacional” claramente não pretendia incluir discussões sobre partes que notadamente foram consideradas obscuras pelos filósofos naturais, por exemplo, o conteúdo do Livro II. A elite pensante e outras pessoas influentes nesse período procuraram transformá-lo num indivíduo sem erros, inigualável e superior a qualquer outra pessoa.

Isso mostra que fatores sociais e culturais foram determinantes para o estabelecimento das teorias newtonianas sobre luz e cores na Grã-Bretanha do século das luzes. Por outro lado, esses mesmos fatores foram responsáveis pela falta de uma análise mais profunda do discurso newtoniano no *Óptica*, o que se refletiu principalmente na divulgação das idéias do Livro II.

4.2. A difusão da óptica newtoniana pela Europa: o caso de Voltaire e Algarotti

Ao mesmo tempo em que a popularização da óptica de Newton era uma dos pilares da construção de sua imagem como “herói nacional”, em outros países da Europa, sua repercussão percorreu caminhos significativamente distintos. Em Portugal, por exemplo, há indícios de que somente após a segunda metade do século XVIII, as teorias de Newton sobre luz e cores atingiram de uma forma geral as Universidades (BERNARDO, 1998). Na Alemanha, sua recepção e aceitação foram tímidas nesse período, embora poucas críticas também tenham surgido (HAKFOORT, 1995, pp. 19-26).

Na França e na Itália, por sua vez, a óptica de Newton – assim como toda sua Filosofia Natural – ganhou importantes canais de divulgação por meio de duas influentes obras: o *Éléments de la philosophie de Neuton* (1738) do francês Voltaire²⁸ (1694-1778) e o *Il newtonianesimo per le dame* (1742) do italiano Francesco Algarotti (1712-1765)²⁹. Voltaire e Algarotti glorificaram as realizações de Newton, colocando-as no último patamar da perfeição. Essas obras foram importantes porque, além de inspirar muitos autores do período, se configuraram como uma fonte para que a elite intelectual leiga em matemática, mecânica, óptica etc. – que não conseguiria ler o *Principia*, por exemplo – pudesse ter contato com as realizações de Newton.

O *Éléments* e o *Newton per le dame* foram obras amplamente lidas tanto nos países de origem de seus autores quanto no restante do continente europeu. Com isso, elas ajudaram a diminuir a influência de outras teorias para a luz – como a de Descartes –,

²⁸ Cujo nome verdadeiro era François Marie-Arouet.

²⁹ Nos referiremos a essas obras por *Éléments* e *Newton per le dame*

abrindo caminho para que a óptica newtoniana fosse incorporada na Filosofia Natural francesa, italiana e européia, de uma forma geral.

Nessa seção, discutiremos o conteúdo dessas duas obras, mostrando como elas apresentavam a óptica de Newton.

4.2.1. O *Éléments* de Voltaire

O comprometimento de Voltaire com as teorias newtonianas surgiu de uma confluência de fatores em sua vida. Após um conflito com um nobre da sociedade francesa em 1726, ele ficou exilado na Inglaterra por muitos anos. Esse período de exílio proporcionou um contato intenso entre ele e os ingleses, e conseqüentemente, às suas conquistas, seus estilos de vida e suas visões de mundo. Isso fez com que Voltaire fosse construindo dentro de si mesmo uma enorme adoração à Inglaterra (FARA, 2002, pp. 131-35).

Entre os filósofos naturais ingleses com os quais Voltaire teve contato, estava Newton e sua óptica. Com anos de estudo, seu conhecimento e admiração pela filosofia natural newtoniana foram crescendo, fazendo com que ele se tornasse um grande defensor das idéias de Newton (CASINI, 1995, pp. 84-85). Com isso, ele procurava, entre outras coisas, reduzir o alcance e a autoridade da visão de mundo de Descartes na França e na Europa de um modo geral, locais onde ela era ainda muito influente (FARA, 2002, p. 131).

Em 1734, Voltaire publicou em francês as *Lettres Philosophiques*³⁰, exaltando a Inglaterra em detrimento à França e, paralelamente, destacando a grande superioridade da filosofia natural newtoniana e lançando críticas severas ao cartesianismo. Em

³⁰ Publicadas primeiro em inglês, sob o título *Letters concerning the English Nation* (1733).

diversos trechos de uma delas, intitulada “Sobre Descartes e Sir Isaac Newton”, ele notavelmente procurou prestigiar o último:

Este famoso Newton, este destruidor do sistema cartesiano, morreu em Março, ano de 1727. Seus compatriotas o honraram durante sua vida e o enterraram como se fosse um rei que fez seu povo feliz. (VOLTAIRE, 1733, p. 96)

As *Lettres* foram banidas na França e Voltaire se exilou por muitos anos no palácio de Emilie du Châtelet (1706-1749), em Cirey, leste do país. A relação entre Voltaire e Emilie du Châtelet – conhecida como Marquesa du Châtelet – é uma história à parte. Ela foi uma proeminente filósofa natural francesa, cuja maior realização foi a tradução dos *Principia* para o francês (GJERSTEN, 1986, p. 104). Convivendo com Voltaire durante os longos anos em Cirey, a Marquesa contribuiu para o crescimento da admiração deste primeiro à filosofia natural newtoniana. Um dos resultados dessa intensa colaboração aparece em uma das obras mais importantes para a difusão da óptica de Newton: o *Éléments de la philosophie de Neuton*³¹, publicado em francês em 1738.

O *Éléments* fez grande sucesso na França e na Europa, sendo traduzido para o alemão, italiano e inglês (CASINI, 1995, p. 100). A recepção positiva do livro pode ser notada num relato no *Journal de Trévoux*, um periódico francês, reproduzido em Casini (1995, p. 99):

Por mais difícil e indecifrável que Newton se mostre, ei-lo, porém, posto ao nosso alcance, ou quase... Mal saíram os novos *Éléments* e já eram vistos nas mãos de toda Paris, e em todo tipo de mãos. Um sucesso de vendas. Todos querem ler pelo menos um capítulo, dar uma olhada nos títulos, devorar o livro com os olhos... Todos querem conseguir um pedaço da doutrina newtoniana... O senhor de

³¹ Nós utilizamos a edição em português, publicada em 1996 pela Editora da Unicamp (VOLTAIRE, 1996). Por uma breve pesquisa nas outras edições, notamos algumas diferenças na estrutura do livro. Entretanto, não houve mudança significativa em seu conteúdo.

Voltaire, enfim, fala e imediatamente é entendido ou começa a ser entendido: toda Paris ecoa Newton, toda Paris balbucia Newton, toda Paris estuda e aprende Newton.

No prólogo do livro, dedicado à Marquesa du Châtelet, Voltaire indicou como trataria as idéias de Newton:

Colocaremos estes *Elementos* ao alcance daqueles que só conhecem de nome Newton e a filosofia. A ciência da natureza é um bem que pertence a todos os homens. Todos gostariam de conhecê-lo, poucos têm o tempo ou a paciência de calculá-lo; Newton o fez por eles. (VOLTAIRE, 1996, p. 16)

Dessa forma, o livro seria voltado ao público leigo em filosofia natural, particularmente, leigo sobre as realizações de Newton. No mesmo prólogo, Voltaire falou sobre a filosofia natural newtoniana, exibindo sua grande devoção a ela:

Até o presente, a filosofia de Newton, para muitas pessoas, pareceu quase tão ininteligível quanto a dos antigos. Mas a obscuridade dos gregos vinha do fato de que eles, realmente, não possuíam luzes, e as trevas de Newton vêm do fato de que sua luz estava muito longe de nossos olhos. Ele encontrou verdades, mas descobriu-as e colocou-as num abismo. É preciso descer nesse abismo e trazer essas verdades para a luz do dia. (VOLTAIRE, 1996, p. 16)

Descendo no abismo da luz, Voltaire dedicou várias páginas do *Eleméns* para descrever as idéias de Newton sobre óptica. Inicialmente, ele desferiu duras críticas aos gregos antigos – os quais chamou de “mestres da ignorância, pagos pelo povo” – e às limitações da teoria de Descartes:

Tendo pois todos os pretensos filósofos feito adivinhações através do véu que cobria a natureza, Descartes chegou e levantou uma ponta deste grande véu. Disse: a luz é uma matéria fina e leve, que afeta nossos olhos. As cores são sensações que Deus excita em nós, segundo os diversos movimentos que levam esta matéria até

nossos órgãos. Até aqui, Descartes tinha razão. Seria preciso que ele se detivesse aí, ou então que, se prosseguisse, tivesse a experiência como seu guia. Mas estava possuído pelo desejo de construir um sistema. Esta paixão fez com este grande homem o que as paixões fazem com todos os homens: arrastam-nos para além de seus princípios. (VOLTAIRE, 1996, p. 70)

Nesse trecho, se destaca um problema que Voltaire atribuiu ao método de Descartes: a falta da experimentação em suas teorias. Esse tipo de crítica sobre a ausência de experimentos foi recorrente em seu texto, quando ele argumentava sobre as teorias cartesianas e muitas outras teorias conflitantes com as newtonianas. Ao final, Voltaire reiterou sua crítica.

Que se vejam finalmente a quantos erros Descartes foi arrastado por esse sistema. Ele não havia feito nenhuma experiência. Imaginava: não examinava este mundo. Criava um outro. Newton, ao contrário, Roemer, Bradley etc. não fizeram senão experiências, e só julgaram segundo os fatos. (VOLTAIRE, 1996, p. 75)

Nas partes subseqüentes, Voltaire mencionou a proposta do padre Nicolas Malebranche³² (1638-1715), que visava reformular as teorias de Descartes. Voltaire afirmou que o sistema de Malebranche era “tão errôneo quanto o de Descartes” (VOLTAIRE, 1996, p. 76), pois, segundo ele, apresentava problemas semelhantes aos presentes em Descartes, por exemplo, a falta de experimentação.

Após esses discursos contrários e depreciativos a outras teorias, Voltaire discutiu a natureza da luz.

O que é pois, enfim, a matéria da luz? *É o próprio fogo*, que queima a uma pequena distância quando suas partes são menos tênues, ou mais rápidas, ou mais unidas, e que ilumina docemente nossos olhos quando age de mais longe, quando suas partículas são mais finas, menos rápidas e menos unidas.

³² Para conhecer mais sobre essa proposta, ver Hakfoort (1995), pp. 56-60.

[...] O fogo não ilumina sempre, e a luz nem sempre brilha. Mas só o elemento do fogo pode iluminar e queimar. O fogo que não se desenvolveu, seja no ferro, seja na madeira, não pode enviar raios da superfície desta madeira ou deste ferro, conseqüentemente não pode ser luminoso. Só se torna luminoso quando esta superfície fica em brasa. (VOLTAIRE, 1996, p. 77)

Era comum na época associar o fogo à luz, bem como à eletricidade, já que estes apresentavam propriedades semelhantes. Newton, no entanto, não discutiu esse ponto no *Óptica*. Nas *Questões* do Livro III, ele se perguntou apenas se os raios de luz não seriam “corpúsculos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham” (NEWTON, 1996, p. 271), não afirmando explicitamente que a luz e o fogo seriam da mesma natureza.

Para Voltaire, discutida a natureza da luz, era o momento de abordar os fenômenos relacionados a ela. O primeiro fenômeno tratado foi a reflexão. Ele afirmou que ela não seria causada pelo choque dos raios de luz na superfície dos corpos, novamente reprimendo Descartes.

Todos os homens, todos os filósofos, os Descartes e os Malebranches, e aqueles que se afastavam dos pensamentos vulgares, acreditaram igualmente que, de fato, são as superfícies sólidas dos corpos que nos enviam os raios. [...] Eis as idéias geralmente aceitas, e que ninguém punha em dúvida.

Entretanto, todas estas idéias são inteiramente falsas. (VOLTAIRE, 1996, pp. 82-83)

Para mostrar a falsidade dessa suposição, Voltaire baseou-se nos argumentos de Newton na proposição 8 do Livro II do *Óptica*. Como vimos no capítulo 3, Newton afirmou que a reflexão não seria o resultado do choque das partículas de luz com a superfície dos corpos, mas devida a um poder do corpo. Voltaire ressaltou a existência desse poder, porém, só iria discuti-lo em detalhes nas partes seguintes. Segundo ele, a

intenção nesse momento era somente “provar que a luz não é refletida pelas partes sólidas [dos corpos]” (VOLTAIRE, 1996, p. 85).

Voltaire também tratou a refração da luz. Assim como fez para a reflexão, ele discutiu somente como a refração ocorria, não tratando a causa desse fenômeno.

A segunda propriedade dos raios de luz que é preciso examinar bem é a de se desviar de seu caminho ao passar do sol para o ar, do ar para o vidro, do vidro para a água etc. É esta nova direção em diferentes meios, esta quebra da luz que se chama refração.

[...] Antes de explicar a razão encontrada por Newton para esta propriedade da matéria, quereis que eu diga como age esta refração em nossos olhos e como o sentido da visão, o mais extenso de todos os nossos sentidos, deve sua existência à refração. (VOLTAIRE, 1996, pp. 88-89)

Nos trechos seguintes, Voltaire dedicou-se ao estudo do funcionamento do mecanismo da visão e dos espelhos e discutiu alguns aspectos da óptica geométrica. Após discursar sobre esses pontos, ele enfim considerou uma explicação causal para fenômenos como a reflexão e a refração: a existência de uma força entre a luz e os corpos. Para ele, do mesmo modo que os corpos se atraíam entre si, segundo a mecânica newtoniana, a luz, sendo um pequeno corpo, também interagiria com os outros corpos por meio de uma força atrativa.

Considerai que os raios da luz estão em movimento. Se eles se desviam, mudando seu curso, deve ser em virtude de alguma lei primitiva, e deve acontecer com a luz o mesmo que ocorre com todos os corpos da mesma pequenez da luz, considerando as outras coisas iguais. (VOLTAIRE, 1996, p. 113)

Concluindo seu raciocínio, ele afirmou:

Há, portanto, uma força, qualquer que seja, que age entre os corpos e a luz. (VOLTAIRE, 1996, p. 113)

A força seria atrativa. No entanto, apesar de Voltaire fazer referência a Newton ao discutir o assunto, este último não tratou em detalhes o papel dessa força de atração na refração e na reflexão, apenas considerou-o brevemente no Livro II e nas *Questões do Óptica* que essa poderia ser a causa desses fenômenos³³. Voltaire foi além do discurso de Newton, afirmando explicitamente que uma força atrativa agiria sobre os raios de luz.

Depois de lançar essa colocação, Voltaire estabeleceu vários argumentos que mostrariam a existência dessa força de atração. Um deles nos chamou a atenção:

[...] os raios se quebram em direção à perpendicular não quando passam de um meio mais fácil para um meio mais resistente, mas quando passam *de um meio menos atraente para um meio que atrai mais*. Observai que nunca se deve entender por esta palavra *atraente* a não ser o ponto para o qual se dirige esta força reconhecida, uma propriedade incontestável da matéria, muito sensível entre a luz e os corpos. Que se considere que, desde 1672, quando Newton mostrou esta atração, nenhum filósofo pôde imaginar uma razão plausível deste desvio da luz. (VOLTAIRE, 1996, p. 114)

Voltaire estava se referindo ao artigo “Nova teoria sobre luz e cores” de Newton, publicado em 1672 nas *Philosophical Transactions*. Nesse artigo, Newton não argumentou sobre a existência de uma força atrativa sobre os raios de luz. Como apontamos no capítulo 3, ele discutiu na “Nova teoria” a relação entre cor e refrangibilidade. Podemos notar que esse último ponto foi reinterpretado por Voltaire.

Em outros trechos do *Éléments*, Voltaire defendeu que a causa da separação da luz branca em raios de diversas cores ao passar por um prisma seria as diferentes atrações do vidro sobre os raios coloridos.

³³ Ver capítulo 3.

Este mesmo poder [a atração] se faz sentir na refrangibilidade. Estes raios, que se afastam a distâncias diferentes, nos advertem de que o meio pelo qual passam age sobre eles de maneira desigual. Um feixe de raios é atraído para o vidro. Mas este feixe é composto de massas desiguais. Estas massas são, portanto, atraídas de forma desigual. Se isto for verdade, devem, pois, refletir-se neste prisma na mesma ordem na qual se refrataram: o mais reflexível deve ser o mais refrangível. (VOLTAIRE, 1996, p. 123)

Segundo Voltaire, Newton havia provado a existência dessa atração, a qual, evidentemente seria a causa de fenômenos como a refração e a reflexão.

[Newton] Provou simplesmente que [a atração] existe. Viu na matéria um fenômeno constante, uma propriedade universal.

[...] Eis, portanto, a refração, a transparência, a reflexão subordinadas a novas leis. (VOLTAIRE, 1996, pp. 115-16)

Apesar da idéia de uma força atrativa ser plausível para explicar a refração, para a reflexão essa suposição não é intuitivamente concebível. Se o corpo só atrai, como poderia ocasionar a reflexão, a qual, aparentemente, seria causada por uma repulsão do corpo? Ao longo da parte referente à luz no *Éléments*, Voltaire indicou a existência de uma repulsão, porém, não desenvolveu completamente essa idéia. Veremos que muitos seguidores de Newton enfrentaram problemas como esses ao configurar uma união entre sua mecânica e sua óptica.

Em nenhuma parte de sua obra Newton “provou” a existência de tal força e nem poderia. O que Newton fez, como vimos, foi discutir a possibilidade da existência de tal força nas proposições 9 e 10 do Livro II.



Figura 4.4 – Frontispício do *Éléments de la philosophie de Newton*, mostrando Voltaire sentado à mesa e sendo “iluminado” pelo conhecimento divino emanado de Newton. A mulher segurando o espelho seria uma representação da Marquesa du Châtelet.

Nos trechos seguintes, Voltaire discutiu o arco-íris e as cores. Ao argumentar sobre este último tópico, ele comentou sobre as cores dos corpos.

Os corpos mais apropriados para transmitir raios vermelhos, e cujas partes absorvem ou deixam passar os outros raios, serão vermelhos, e assim por diante. Isto não quer [dizer] que as partes destes corpos de fato reflitam os raios vermelhos, mas sim que há um poder, uma força até aqui desconhecida que reflete estes raios junto às superfícies e no seio dos poros dos corpos. (VOLTAIRE, 1996, p. 132)

Assim como a idéia de força atrativa, Newton não afirmou que as partes dos corpos refletiriam certas cores por um *poder*. Como vimos no capítulo anterior, ele tratou as cores dos corpos no Livro II restringindo-se a estabelecer uma relação entre tamanho de suas partículas e suas cores. Novamente, Voltaire está reinterpretando o

discurso newtoniano, o que indica que ele evidentemente quer retratar Newton como o criador de uma relação entre a óptica e a mecânica.

Logo em seguida, Voltaire discutiu a formação dos anéis coloridos em filmes finos e bolhas. Provavelmente, baseando-se nas palavras de Newton da proposição 9 do Livro II, ele afirmou que as reflexões e refrações alternadas que ocasionariam os anéis seriam devidas a um poder do corpo. Ele não explicitou se esse poder seria a força de atração discutida anteriormente.

Deve-se, pois, admitir um poder, que age sobre os raios de luz a partir de cima de uma das superfícies para outra, um poder que alternativamente transmite e reflete os raios. Não se suspeitava, antes de Newton, a existência deste jogo entre a luz e os corpos. Aliás, Newton contou vários milhares destas vibrações alternativas, destes jatos transmitidos e refletidos. Esta ação dos corpos sobre a luz, e da luz sobre os corpos, ainda deixa muitas incertezas na maneira de explicá-lo. (VOLTAIRE, 1996, p. 137)

Voltaire claramente ignorou o conceito newtoniano de estados de fácil transmissão e fácil reflexão. Ele não se referiu aos estados, mas sim a uma ação da luz sobre a matéria e vice-versa, o que não foi considerado por Newton. Nos trechos seguintes, Voltaire implicitamente indicou que a validade desse conceito não estava muito bem estabelecida.

Aquele que descobriu este mistério [a ação dos corpos sobre a luz, fazendo com ela fosse alternadamente transmitida e refletida] não conseguiu, no decurso de sua longa vida, fazer experiências em número suficiente para assinalar a causa certa destes efeitos. Mas não é já um grande serviço prestado à filosofia o fato de nos ter ensinado, por suas descobertas, novas propriedades da matéria? (VOLTAIRE, 1996, p. 137)

A análise da parte referente à luz do *Éléments* indicou que Voltaire apresentou com grande devoção as teorias newtonianas e queria fazer isso. De forma sucinta e bastante

ilustrativa, ele explorou pontos que Newton não desenvolveu completamente em sua óptica – como a força atrativa entre a luz e os corpos – e ignorou alguns outros, como o conceito de estados da luz.

Na edição brasileira de 1996 do livro de Voltaire, foi publicada uma carta escrita por ele, na qual revelou que algumas idéias de Newton ainda permaneciam inconclusivas³⁴.

Teria tido a honra, senhor, de responder mais cedo, sem as doenças contínuas que exercitam minha paciência mais do que Newton exercita meu espírito. Creio que vossas dúvidas teriam provocado estas doenças no próprio Newton. Dizeis que é uma pena que ele não tenha se explicado mais claramente a respeito da razão pela qual a força atrativa se torna freqüentemente repulsiva, e sobre a força pela qual os raios de luz sejam lançados com tão prodigiosa rapidez.

[...] Eu vos exponho minhas dúvidas, senhor, com a mesma fraqueza com a qual me comunicastes as vossas. Felicito-vos por cultivar a filosofia, que deve nos ensinar a duvidar de tudo aquilo que não é do domínio das matemáticas e da experiência. (VOLTAIRE, 1996, pp. 144-45)

É interessante notar a mudança de postura de Voltaire. Enquanto nos *Éléments* ele glorificou as realizações de Newton, explorando idéias que este último sequer desenvolveu completamente, privativamente, ele adotou um comportamento mais contido, reconhecendo as limitações de algumas explicações de Newton.

Isso indica que, por trás da adoração a Newton e do prestígio conquistado por ele e por suas teorias, provavelmente muitos newtonianos podem ter reconhecido os limites de suas idéias sobre a luz, principalmente aquelas presentes no Livro II. No entanto, em suas obras, esses seguidores expuseram apenas alguns aspectos da óptica newtoniana e

³⁴ A carta também foi publicada no *Oeuvres complètes*, uma coletânea de todas as obras de Voltaire. As edições pesquisadas desse trabalho e a edição em português não contêm informações sobre o ano de publicação da carta e a quem ela se destinava.

deixaram de criticar publicamente seus vários aspectos problemáticos. Voltaire pode ter sido somente um exemplo.

4.2.2. O *Newton per le dame* de Algarotti

Assim como Voltaire, o italiano Francesco Algarotti foi o responsável por uma das obras populares sobre Newton mais lidas na Europa do início do século XVIII, o *Il newtonianesimo per le dame ovvero dialoghi sopra la luce e i colori*, publicado em italiano em 1737. A tradução para o inglês apareceu em 1739, sob o título *Sir Isaac Newton's philosophy explain'd for the use of the ladies – In six dialogues on light and colours*. Outras traduções para o inglês e francês foram feitas ao longo dos anos posteriores à primeira versão em italiano³⁵.

A idéia de escrever o livro veio desde os primeiros passos de Algarotti na filosofia natural, enquanto estudante da Universidade de Bologna em 1720. Como é comum, Algarotti sofreu inúmeras influências tanto de filósofos naturais italianos quanto de outros países, incluindo Voltaire e a Marquesa du Châtelet. Ele permaneceu durante um período em 1735 no chatêau de Cirey, a residência de verão da Marquesa. A convivência com a ela e Voltaire influenciou muito os rumos seguidos posteriormente por Algarotti no *Newton per le dame* (MAZZOTTI, 2004, p. 125).

De sua primeira publicação em 1737 até sua edição final em 1752, o *Newton per le dame* passou por diversas modificações em seu conteúdo e título (MAZZOTTI, 2004, p. 123). Ao longo dessas duas décadas entre a primeira e a última versão, a obra de Algarotti difundiu-se por toda a Europa (CASINI, 1995, p. 222), projetando as idéias de

³⁵ Nós utilizamos a tradução para o inglês de 1742, sob o título *Sir Isaac Newton's theory of light and colours, and his principle of attraction, made familiar to the ladies in several entertainments*.

Newton e, em particular, o modelo ideal que sua óptica representava para a teoria corpuscular.

O livro é composto por seis diálogos entre uma Marquesa e um Cavaleiro. Por meio dessas conversas, Algarotti ilustrou a grande superioridade, beleza e perfeição da ciência newtoniana – particularmente sua óptica – e, ao mesmo tempo, criticou fortemente as teorias de outros pensadores, principalmente as de Descartes.

O livro é narrado pelo Cavaleiro, um claro alter ego de Algarotti. A Marquesa ou Dama seria uma alusão à Marquesa du Châtelet. Logo no início, ele afirmou que a história que irá contar é

Uma história meramente filosófica, feita inteiramente a partir de algumas conversas que tive com aquela charmosa Dama, sobre o assunto de luz e cores. (ALGAROTTI, 1742a, p. 2)

Nesse trecho inicial, é possível notar o tom narrativo da obra de Algarotti. Não se trata de um livro que diríamos científico, mas um texto baseado em conversas cotidianas entre um cavaleiro e uma dama.

O interesse pela óptica começou a partir da dúvida da Marquesa sobre a expressão “sete luzes” que havia encontrado em um poema endereçado a eminente filósofa natural italiana Laura Bassi (1711-1778). O poema, segundo o Cavaleiro, teria sido escrito por ele e continha os seguintes dizeres:

Aquela composição de sete luzes, aquele raio dourado / Disparados avante da órbita brilhante do dia / Em cuja linha direta transparente / Unidas, todas as cores brilham / Cujo feixe, ao queimar-se pelo Universo / Mostra todos os objetos, e enquanto mostra, enriquece³⁶. (ALGAROTTI, 1742a, pp. 11-12)

³⁶ Tradução livre de: *That seven-fold light / That golden ray / Shot from the bright orb of Day / In whose direct transparent line / United, all the colours shine / Whose beam, as thro' the Universe it burns / All object shews, and while it shews, adorns.*

Em seguida, o Cavalheiro exaltou suas palavras.

Se você entendeu toda a força dessa expressão, você pode vê-la num tipo de pintura newtoniana, talvez, certamente, muito filosófica para poesia, mas ao mesmo tempo cheia de verdade, e sem qualquer obscuridade de hieróglifo. (ALGAROTTI, 1742a, p. 12)

Como vemos, o Cavalheiro relacionou suas palavras a uma “pintura newtoniana”, claramente indicando uma grande admiração às idéias de Newton.

A partir desse ponto, a Marquesa insistiu que o Cavalheiro discutisse mais sobre o que estava envolvido nas expressões “sete luzes” e “pintura newtoniana”. No início, o Cavalheiro se mostrou relutante, no entanto, após muita insistência da Marquesa, ele começou a discutir alguns experimentos com prismas feitos por Newton, chegando à conclusão de que a luz seria uma mistura heterogênea de raios de todas as cores.

Após uma breve apresentação desses estudos de Newton, a Marquesa se mostrou deslumbrada pelas palavras do Cavalheiro sobre as idéias newtonianas. Segundo ela, o Cavalheiro

[...] parece falar com tanto ar de certeza, e tão seriamente juntar as descobertas de Newton com as verdades da Natureza, que eu estou impaciente para me tornar uma newtoniana também. (ALGAROTTI, 1742a, p. 16)

Como vemos, Algarotti, por meio das palavras da Marquesa, deixou claro o enorme prestígio das idéias de Newton. Aparentemente, as palavras do Cavalheiro teriam soado com tamanha certeza, que seria impossível não querer compreender melhor as teorias de Newton e se tornar um autêntico newtoniano.

Esse trecho, em particular, revela traços do simbolismo criado em torno da óptica de Newton. As teorias de Newton estariam tão próximas das verdades indubitáveis

sobre o mundo, que seria inconcebível não considerá-las como superiores a outras idéias. Nos trechos seguintes, esses traços ficarão mais evidentes.

Visto que a curiosidade da Marquesa sobre a luz só aumentara, o Cavalheiro iniciou um longo diálogo sobre a filosofia natural. Inicialmente, ele argumentou sobre os gregos antigos, como Aristóteles, afirmando que a filosofia natural, devido à “crença cega” em suas teorias, “teve pouco progresso até o último século [o XVII]” (ALGAROTTI, 1742a, p. 26, 28).



Figura 4.5 - Frontispício da primeira versão do *Newton per le dame*, de 1737. A imagem retrata o Cavalheiro e a Marquesa, provavelmente, uma alusão às conversas de Algarotti com Emile du Châtelet.

Logo depois, o Cavalheiro começou a discutir as teorias de Descartes. Durante um longo discurso, o cavalheiro apresentou o conceito de *vórtices* e discutiu a propagação da luz, a formação de cores e as explicações cartesianas para fenômenos como a refração e a reflexão segundo o sistema cartesiano. Ao mesmo tempo em que se ateu a Descartes, o cavalheiro tratou outros tópicos da óptica, como o funcionamento do olho, de um telescópio e de um microscópio.

Após uma longa discussão, a Marquesa mostrou-se admirada e satisfeita com o conhecimento adquirido sobre as teorias de Descartes. Nas palavras do Cavaleiro:

Eu percebo, disse a Marquesa com um sorriso, que eu tenho algum direito de me considerar uma filósofa, pois eu tenho minha mente cheia de vórtices; [*que*] pela mera pressão dos glóbulos do segundo elemento, eu posso formar luz e cores pela sua rotação. [...] Eu quero algo mais para me fazer uma completa filósofa? (ALGAROTTI, 1742a, p. 189)

Dessa forma, a Marquesa havia se tornado uma filósofa cartesiana. Entretanto, logo após esse relato, o Cavalheiro a alertou que o sistema de Descartes guardava muitos problemas.

Mas você não percebe que a filosofia na qual se baseia precisa de uma reformulação [...]. A reformulação³⁷ da qual falei afetará nada mais que os glóbulos de luz e a maneira sobre as quais eles excitam em nós a sensação de cores. (ALGAROTTI, 1742a, pp. 190-91)

A Marquesa respondeu:

Isto está desconcertando totalmente minhas idéias [...]. (ALGAROTTI, 1742a, p. 191)

³⁷ Essa reformulação das teorias de Descartes seria a proposta de Malebranche. Para conhecer mais sobre essa proposta, ver Hakfoort (1995), pp. 56-60.

Nos trechos seguintes, o Cavalheiro apresentou vários argumentos que mostrariam problemas das teorias de Descartes. Um dos argumentos era o seguinte: se ele e a Marquesa fixassem seus olhares num ponto do ar, mas olhassem para diferentes lugares, haveria um glóbulo comum aos dois. Segundo a teoria de Descartes, os raios que chegariam aos olhos do Cavalheiro e da Marquesa seriam nada mais do que uma pressão propagada por uma série de glóbulos, desde os diferentes lugares até os olhos. Como um glóbulo era comum ao Cavalheiro e à Marquesa, ele deveria, portanto, pressionar tanto em direção ao primeiro quanto em direção a segunda. Isso seria impossível segundo a concepção cartesiana, visto que um glóbulo não poderia pressionar em duas direções diferentes.

Consternada por perceber as falhas que as idéias de Descartes guardavam, a Marquesa mostrou sua insatisfação.

[...] eu lhe peço, pelo amor a Filosofia, nunca mais mencione esses glóbulos para mim. (ALGAROTTI, 1742a, p. 196)

Enfim, a Marquesa estava ciente da incapacidade de Descartes ao tratar a luz.

A argumentação do Cavalheiro, inicialmente discutindo aspectos gerais da filosofia natural e posteriormente abordando e criticando as idéias de Descartes, provavelmente fez parte de uma estratégia de Algarotti. Aparentemente, sua intenção era, em primeiro lugar, mostrar a grande incapacidade dos filósofos naturais anteriores a Newton – principalmente Descartes – em tratar a luz e os fenômenos relacionados a ela. Em segundo lugar, a insatisfação da Marquesa com essas teorias seria o requisito necessário para seu ingresso na filosofia newtoniana, em particular, para o estudo das teorias ópticas de Newton.

Dessa forma, nas conversas seguintes, o Cavalheiro estava pronto para mostrar à Marquesa a perfeição das teorias newtonianas sobre a luz. Segundo ele, Newton

[...] revelou as propriedades da luz e cores: ele nos mostrou o que é real e verdadeiro, sem entreter a si próprio, como Descartes [...]. (ALGAROTTI, 1742b, p. 16)

Analisando as palavras por trás do contexto literário do Cavaleiro e da Marquesa, percebemos a grande devoção de Algarotti a Newton. O tom romântico da narrativa adotada por Algarotti claramente contribuiu para a glorificação das idéias newtonianas. A consagração de Newton e de sua óptica ficou mais evidente nos trechos seguintes.

Você será, Senhora, introduzida a um mundo completamente novo, completamente enriquecido com as mais charmosas verdades: Newton é o descobridor. Você não encontrará, do começo ao fim de tudo, o menor traço dos filósofos anteriores. Não pode haver melhor modelo de verdadeira Filosofia que seu tratado de Óptica, foi produto de trinta anos de aplicação e estudo. (ALGAROTTI, 1742b, p. 16)

Após exaltar as teorias de Newton, o Cavaleiro abordou o método defendido freqüentemente por Newton, o indutivismo.

Acredite em minha, Senhora, o verdadeiro, a única maneira de atingir o puro conhecimento da Natureza, até onde nossa fraqueza permitir, é pela observação atenciosa e procura cuidadosa por dentro das propriedades secreta da essência das coisas [...]. (ALGAROTTI, 1742b, p. 19)

Esse argumento em favor do indutivismo claramente faz parte de uma crítica de Algarotti ao uso exagerado da imaginação na filosofia natural. Nas conversas anteriores entre o Cavaleiro e a Marquesa, Algarotti freqüentemente criticou a Marquesa por “imaginar demais” – principalmente ao se apoiar nas idéias cartesianas –, afirmando que, devido a essa postura, os antigos haviam cometido muitos erros.

Nota-se, portanto, o papel atribuído a Newton e a sua óptica. Elas seriam as representantes da “verdadeira filosofia”, do conhecimento puro e correto sobre a luz e

seu comportamento. A Marquesa, claramente entusiasmada, correspondeu à admiração do Cavalheiro.

Eu desejo com todo meu coração, que elas [as teorias de Newton] possam ser suficientes para remover a nuvem a frente dos meus olhos. Você agora me promete uma nova vida na Filosofia: quão charmoso será, quão prazeroso [isto] é, enquanto a verdade é nossa guia! (ALGAROTTI, 1742b, p. 19)

A partir desse trecho, o Cavalheiro discutiu mais detalhadamente as idéias de Newton. Por quase uma centena de páginas, o Cavalheiro apresentou à Marquesa, essencialmente, o conteúdo do Livro I do *Óptica*, ressaltando as conquistas newtonianas e freqüentemente criticando outras teorias para a luz.

A intenção do Cavalheiro era mostrar como Newton alcançou um conhecimento perfeitamente verdadeiro sobre a luz somente a partir de observações e de conclusões tiradas delas. Nesse sentido, a Marquesa chegou a dizer:

Nós podemos afirmar então, respondeu a Marquesa, que assim como tudo aquilo que Midas tocou foi transformado em ouro, do mesmo modo tudo que Sir Isaac Newton manejou tornou-se demonstração. (ALGAROTTI, 1742b, p. 40)

Como já era de se esperar pelo caráter da obra, em nenhum momento, há qualquer ressalva ou crítica, sobre a óptica de Newton. Nenhum aspecto das idéias de suas idéias parece duvidoso, pelo contrário, todos seriam a mais pura manifestação das verdades da Natureza. Isso indica que Algarotti – assim como Voltaire – queria de fato popularizar uma imagem idealizada, perfeita e sem erros de Newton e de suas obras.

Nos trechos seguintes, Algarotti considerou, por meio das palavras do Cavalheiro, o fenômeno dos anéis coloridos em filmes finos e sua relação com as cores dos corpos, um dos assuntos mais problemáticos do Livro II do *Óptica*. Segundo ele, a analogia

seria boa por “vários exemplos” (ALGAROTTI, 1742b, p. 101), não mencionando qualquer dificuldade para entender essa relação.

Além disso, apesar de discutir os “anéis de Newton”, Algarotti não citou o conceito de estados da luz. Uma vez que eles desempenharam um papel significante na óptica de Newton, era de se esperar fossem, ao menos, comentados brevemente. Esse fato é mais um indício de que os filósofos naturais do início do século XVIII não consideravam os estados importantes para a óptica newtoniana ou que provavelmente seriam muito obscuros, por isso, seria melhor fingir que Newton não teve esse tipo de idéia.

Após apresentar os estudos de Newton sobre a difração da luz, o Cavalheiro expôs o conceito de atração entre a luz e os corpos. Segundo ele, a atração

[...] é a chave de toda Filosofia, a grande energia que ativa a estrutura da Natureza; a universal e misteriosa força descoberta e calculada por Sir Isaac Newton [...]. (ALGAROTTI, 1742b, p. 125)

O discurso do Cavalheiro denota, de uma perspectiva geral, o prestígio da filosofia natural newtoniana, particularmente de seu conceito de atração, peça chave em sua teoria da gravitação universal. Do mesmo modo que Voltaire, Algarotti investiu nessa relação.

[...] a Atração está longe de ser um segredo, ela é uma qualidade evidente da matéria, sobre a qual claramente depende a explicação para a difração, a própria refração, e inumeráveis outras coisas. (ALGAROTTI, 1742b, p. 126)

Entretanto, a Marquesa não assimilou prontamente essa idéia.

Eu entendo, ou penso que entendo, como os raios de luz são diferentemente refrangíveis. Isto dentre muitas outras coisas é muito inteligível. Mas que corpos

deveriam atrair a luz [...] parece muito difícil conceber. (ALGAROTTI, 1742b, p. 128)

Segundo o Cavalheiro, a dúvida da Marquesa era causada por “resquícios” da teoria de Descartes. Deste ponto até o final do livro, Algarotti continuou a explorar o conceito de atração entre a luz e os corpos, apresentando algumas idéias de Newton presentes nas *Questões* e analisando vários fatos que evidenciariam a existência dessa interação. Além disso, ele tratou alguns outros aspectos da mecânica newtoniana.

A análise de Algarotti não é detalhada, visto o caráter de sua obra. Das várias evidências que, segundo ele, comprovariam a existência de uma força de atração entre a luz e os corpos, apenas discussões bastante prosaicas foram levantadas a partir delas.

Além disso, outras idéias newtonianas claramente não se encaixavam nessa perspectiva mecânica para a óptica, por exemplo, o conceito de estados. Não citada quando da discussão dos “anéis de Newton”, Algarotti finalmente dedicou algumas (poucas) palavras a ela no final do livro, restringindo-se a dizer que havia chegado com ela nos confins misteriosos da Natureza, uma postura semelhante à adotada por Voltaire.

Então vêm os estados de fácil transmissão e reflexão, isto é, o mesmo raio de luz é num momento transmitido e no outro refletido [...]. Mas nós agora chegamos aos confins da Natureza, onde nossas idéias são escuras e confusas [...]. (ALGAROTTI, 1742b, p. 216)

Isso reforça a noção de que a intenção de Algarotti não foi discutir validade das idéias de Newton, mas apresentá-las como verdades absolutas e irrefutáveis sobre o mundo. Pelas inúmeras passagens citadas acima, tanto do Cavalheiro quanto da Marquesa, esse aspecto de seu trabalho fica evidente.

Enfim, após longos dias de intensa conversa, a Marquesa finalmente havia se incorporado no pensamento newtoniano e se livrado das especulações e do excesso de imaginação que o cartesianismo exigia. Segundo o Cavalheiro, para a Marquesa:

Você já renunciou seus erros filosóficos, eu respondi. A luz do Newtonianismo dissipou os fantasmas Cartesianos que enganaram seus sentidos. Agora você é realmente uma Newtoniana [...]. (ALGAROTTI, 1742b, p. 223)

Evidentemente, esse era o objetivo fundamental de Algarotti no *Newton per le dame*: inicialmente apresentar as idéias dos predecessores de Newton, destacando seus erros, e posteriormente ilustrar as verdades do pensamento newtoniano e sua superioridade em relação aos outros. Por detrás da figura do Cavalheiro, Algarotti construiu uma das defesas mais interessantes à óptica de Newton.

Assim como o *Éléments de la philosophie de Neuton* de Voltaire, o *Newton per le dame* de Algarotti foi amplamente lido na Europa do século XVIII. Entretanto, a primeira edição de 1737 não agradou o Santo Ofício da Igreja Católica. Em 1739 o livro foi condenado ao *Index Librorum Prohibitorum*, a lista de livros proibidos pelos católicos. Os motivos que levaram à condenação ainda são incertos, porém, com as subseqüentes revisões no conteúdo e as mudanças no título, as versões posteriores ficaram livres da punição da Igreja (MAZZOTI, 2004, pp. 137-38).

À parte desses fatos que cercaram o *Newton per le dame*, a obra de Algarotti permanece como uma das mais interessantes formas de defesa e divulgação de uma imagem idealizada da óptica de Newton na primeira metade do século XVIII.

4.3. Comentários sobre a popularização da óptica de Newton

Nas duas seções acima, discutimos alguns fatores que levaram à ampla popularização de partes da óptica newtoniana, principalmente aquelas que enfatizavam um clamor indutivista para a Filosofia Natural e aquelas que valorizavam a concepção corpuscular para a luz.

Apresentando Newton como um célebre gênio, um “herói nacional”, os popularizadores tiveram um importante papel no estabelecimento do que se entende hoje por óptica newtoniana: teoria da luz e cores, composição da luz branca e concepção corpuscular para a luz. Eles simplesmente não discutiram aspectos obscuros e complicados, como o conceito de estados da luz e praticamente todo o conteúdo do Livro II.

No caso dos livros de Voltaire e Algarotti, ficou claro que eles procuraram vangloriar Newton e suas realizações, ao invés de discuti-las profundamente. Eles não analisaram os limites de validade e aspectos problemáticos das teorias newtonianas e tampouco se referiram à necessidade de tal tarefa. No entanto, isso é perfeitamente compreensível, visto o objetivo primordial de seus trabalhos: expor a grandiosidade das idéias de Newton.

Ao tratarmos da aceitação das idéias de um cientista, vários fatores devem ser levados em conta. Um dos principais, a nosso ver, é a qualidade de suas contribuições científicas para o período, sua argumentação, a clareza na apresentação de suas idéias. No entanto, há outros fatores que também podem (e devem) ser levados em conta, por exemplo, a influência do ambiente cultural do período e também de fatores políticos. No caso da aceitação da óptica newtoniana, não

devemos nos esquecer que ele já tinha adquirido um grande prestígio como filósofo natural após a publicação dos *Principia*. Certamente este prestígio favoreceu a aceitação de suas idéias sobre óptica.

Dessa forma, a popularização da óptica newtoniana foi incentivada não só porque ela era um bom conjunto de explicações, mas também devido à forte crença de muitos seguidores de Newton na sua correspondência com as verdades do mundo. De uma perspectiva educacional, a análise feita nesse capítulo indicou que muitas teorias científicas podem se tornar referências por outros fatores, além daqueles que se relacionam somente ao seu conteúdo científico. A divulgação da óptica newtoniana foi muito incentivada por um processo de ampla popularização do próprio Newton, o qual, por sua vez, estava enraizado num movimento para torná-lo uma espécie de “herói nacional”. As conferências populares de Desaguliers e outros e os livros de Voltaire e Algarotti contribuíram intensamente para que esse processo ganhasse força. Entretanto, nem todas as partes de sua obra foram difundidas, por exemplo, o conceito de estados luz. Provavelmente, os filósofos naturais da época o consideravam muito complexo ou pouco satisfatório.

No caso particular do *Newton per le dame* de Algarotti, há também um aspecto muito evidente sobre a Natureza da Ciência: a questão do gênero. A Marquesa é retratada como uma pessoa fútil, que muda de idéia o tempo todo, fácil de ser convencida, sendo que Algarotti com frequência associou essas atitudes aos erros cometidos por filósofos naturais anteriores a Newton. Além disso, se a Marquesa é um retrato de Emilie du Châtelet, é uma caricatura machista, já que esta era bem inteligente, tendo, inclusive, traduzido o *Principia* para o francês e estudado filosofia e outras línguas. A própria Laura Bassi, citada no início do livro, era mais preparada e culta que a maioria dos homens da época. Isso ilustra que a idéia de que na Ciência não há lugar

para as mulheres já estava presente nessa época – e continua, com menos intensidade, até os dias de hoje –, mesmo com a presença de importantes filósofas como Châtelet e Bassi. Tais aspectos são características intrínsecas à Natureza da Ciência, que não podem ser excluídos ao discutirmos a construção, estabelecimento e popularização do conhecimento científico.

5

A união de duas vertentes

Ao mesmo tempo em que partes da óptica de Newton eram amplamente difundidas na Europa, particularmente na Grã-Bretanha, tanto entre os filósofos naturais e uma elite intelectual, bem como para um público leigo, seu conteúdo original era modificado e aperfeiçoado. Almejando construir uma óptica corpuscular baseada na mecânica newtoniana – muito celebrada na época –, seguidores de Newton vincularam os resultados do *Óptica* com aqueles discutidos no *Principia*.

O resultado desse intento foi um aperfeiçoamento da óptica proposta originalmente por Newton, poucos anos depois da publicação do *Óptica*. Diversos filósofos naturais desenvolveram diferentes e complexos modelos mecânicos para explicar os fenômenos ópticos, frequentemente afirmando que se baseavam nas idéias newtonianas. Duas vertentes da filosofia natural newtoniana foram, portanto, unificadas: a mecânica e a óptica.

No capítulo anterior, notamos indícios dessa união nas conferências populares e nos livros de Voltaire e Algarotti. No presente capítulo analisaremos outros livros de alguns dos principais defensores de Newton do início do século XVIII, buscando evidências mais claras desse marcante processo de aperfeiçoamento da óptica newtoniana. Essa investigação indicará que esse processo trouxe conseqüências importantes para a repercussão das idéias do Livro II do *Óptica*. Isso denotará que teorias científicas, mesmo sendo muito famosas e respeitadas, podem ser modificadas justamente por aqueles que a veneram, ilustrando alguns aspectos da dinâmica do conhecimento científico.

5.1. As idéias de Newton sobre forças entre luz e matéria

Antes de analisar como vários modelos mecânicos para a óptica foram desenvolvidos no início do século XVIII, é necessário conhecer as idéias de Newton sobre o assunto. No capítulo 3, abordamos brevemente o assunto; neste capítulo discutiremos melhor essa questão.

Até os dias atuais, Newton é conhecido como o grande defensor da concepção corpuscular para a luz. Entretanto, uma análise profunda de suas obras publicadas e não publicadas sugere que ele nunca defendeu aberta e explicitamente essa idéia. Mesmo em trabalhos exclusivamente hipotéticos, como o artigo “A hipótese da luz” de 1675, ele foi cauteloso ao tratar a natureza física da luz.

A fim de não se comprometer publicamente com o pressuposto de que a luz seria constituída de pequenas partículas luminosas diminutas, Newton com frequência utilizou o termo “raio de luz”. No início do Livro I do *Óptica*, ele definiu o que seria “raio de luz”.

Por raios de luz entendo as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas.

Pois é evidente que a luz consiste em partes, tanto sucessivas como contemporâneas, porque no mesmo lugar podemos deter a que chega em dado momento e deixar passar a que chega imediatamente depois; e ao mesmo tempo podemos detê-la em qualquer lugar e deixá-la passar em qualquer outro. (NEWTON, 1996, p. 39)

Essa definição de “raio de luz” se ajusta à hipótese de que a luz seria composta por partículas. No entanto, Newton só especulou explicitamente sobre essa suposição nas *Questões* do Livro III.

Os raios de luz não são corpos minúsculos exibidos pelas substâncias que brilham? Pois tais corpos atravessarão meios uniformes em linhas retas sem se curvar em direção à sombra, o que é da natureza dos raios de luz. Também serão capazes de possuir várias propriedades, e de conservar imutáveis suas propriedades ao atravessar vários meios, o que é outra condição dos raios de luz. (NEWTON, 1996, p. 271)

Esses trechos acima são uma indicação de que Newton não defendeu publicamente a materialidade da luz, exceto em partes exclusivamente especulativa de alguns de seus trabalhos, como as *Questões* do *Óptica*. Embora ele seja conhecido como o fundador e principal defensor da teoria corpuscular para a luz, seus trabalhos publicados não contêm uma exposição detalhada, enfática, tampouco explícita, dessa teoria.

Sobre a existência de forças entre a luz e os corpos, as discussões de Newton foram um pouco mais longas, embora, não menos simplistas. Na seção 14 do Livro I do *Principia*, Newton relacionou pela primeira vez em seus trabalhos publicados o movimento de pequenos corpos sujeitos a forças com o comportamento da luz em fenômenos como a refração, reflexão e inflexão. Segundo ele, as atrações que esses corpos sofrem

guardam uma grande semelhança com as reflexões e refrações da luz realizadas em uma dada razão das secantes, como foi descoberto por Snell; e, conseqüentemente, em uma dada razão dos senos, como foi mostrado por Descartes. [...] Além disso, os raios de luz que estão em nosso ar [...] em sua passagem próximos às angulosidades dos corpos, sejam eles transparentes ou opacos [...], são dobrados ou defletidos em torno daqueles corpos como se fossem atraídos para eles; e aqueles

raios que em sua passagem aproximam-se o máximo dos corpos são os mais defletidos, como se fossem os mais atraídos [...]. E aqueles que passam a grandes distâncias são menos desviados, e aqueles em distâncias ainda maiores são um pouco defletidos de modo contrário [...]. (NEWTON, 1990, pp. 261-62)

No *Óptica*, Newton considerou a existência de forças entre a luz e a matéria nos Livros II e III, apresentando discussões obscuras e espalhadas ao longo deles. Como vimos no capítulo 3, na proposição 8 do Livro II, após apresentar uma série de argumentos que provariam que a reflexão não seria causada pelo choque da luz com o corpo, Newton estabeleceu que

a reflexão de um raio é efetuada, não por um ponto único do corpo refletor, mas por algum poder do corpo que está espalhado uniformemente por toda sua superfície e pela qual ele age sobre o raio sem contato imediato. (NEWTON, 1996, p. 201)

Na proposição 9, ele usou explicitamente a palavra “força”.

Os corpos refletem e refratam a luz em virtude de uma mesma força, exercida variadamente em variadas circunstâncias. (NEWTON, 1996, p. 203)

Segundo Newton, a existência dessa força seria evidente em fenômenos como a refração e reflexão alternadas e reflexão total. Na proposição 10, ele explicou melhor como agiria essa força.

[...] Ora, se qualquer corpo ou coisa, movendo-se através de um espaço qualquer de uma dada extensão e terminado em ambos os lados por dois planos paralelos, for estimulado para frente em todas as partes desse espaço por forças que tendam diretamente para frente em direção ao último plano e que, antes de sua incidência no primeiro plano, não tinha nenhum movimento em direção a ele, ou tinha apenas um movimento infinitamente pequeno; e se as forças existentes em todas as partes desse espaço entre os planos forem iguais umas às outras a distâncias iguais dos planos, mas a distâncias diversas forem maiores ou menores em qualquer proporção dada, o movimento gerado pelas forças na passagem completa do corpo

ou coisa através desse espaço estará numa proporção subduplicada das forças, como os matemáticos entenderão facilmente. (NEWTON, 1996, p. 204)

Nos trechos seguintes, ele transportou essa explicação para o caso da refração.

Portanto, se o espaço de atividade da superfície refratora do corpo for considerado como tal espaço, o movimento do raio gerado pela força refratora do corpo durante sua passagem através desse espaço [...] deve estar numa proporção subduplicada dessa força refratora. (NEWTON, 1996, pp. 204-05)

A colocação do termo “espaço de atividade da superfície refratora” – o lugar em que a força agiria nos raios de luz – evidencia que ele acreditava em forças agindo a determinadas extensões e não decaindo infinitamente com o quadrado da distância, como acontece com a força gravitacional entre os corpos. Outro detalhe importante foi que, ao contrário do que fez no *Principia*, ele não afirmou que a força *atraía* os corpos ou a luz, mas que os *estimulava* “para frente” em direção à superfície refratora. Isso sugere que ele não tinha uma idéia estabelecida sobre essa questão.

Ainda que Newton tenha afirmado na proposição 9 que essa força tanto refrataria como refletiria o raio de luz, ele só explorou detalhadamente o primeiro caso. Seu discurso na proposição 10 não contém argumentos para embasar uma explicação para a reflexão da luz fundamentada no conceito de força atrativa. Se essa força estimulava os corpos ou a luz somente para frente, como ele afirmou, não seria possível conceber como ela os refletiria.

Além disso, apesar de Newton ter escrito na proposição 9 que vários outros fenômenos poderiam ser explicados por meio do conceito de forças entre a luz e a matéria, ele só discutiu seu funcionamento no caso da refração ideal e da reflexão total. A explicação da proposição 10 só levou em conta esses dois últimos.

Nas *Questões* do Livro III, Newton retomou o assunto. Contudo, somente na *Questão 31* ele discutiu com mais detalhes a natureza dessa força, primeiramente estabelecendo sua ação atrativa sobre os raios de luz.

Não têm as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem à distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os, refratando-os e inflectindo-os, mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da natureza? Pois sabe-se que os corpos agem uns sobre os outros pelas ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e o curso da natureza, e não tornam improvável que possa haver mais poderes atrativos além desses. Não examino aqui o modo como essas atrações podem ser efetuadas. O que chamo de atração pode-se dar por impulso ou por algum outro meio que desconheço. Uso esta palavra aqui apenas para expressar qualquer força pela qual os corpos tendem um para o outro, seja qual for a causa [...]. (NEWTON, 1996, p. 274)

As ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade de algum corpo sobre outro são inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre eles. Esse não seria o caso da força entre o raio de luz e os corpos, já que essa ação ocorreria somente em uma determinada região, o “espaço de atividade da superfície refratora”, como Newton discutiu na Proposição 10 do Livro II.

Além disso, as forças gravitacional, magnética e elétrica guardam particularidades que não têm, aparentemente, equivalentes na força entre a luz e a matéria. Por exemplo, a gravitacional só é atrativa e as de atração e repulsão elétricas e magnéticas são devidas à diferença de polaridade entre os corpos (negativo/positivo, norte/sul). Portanto, essas forças são de naturezas diferentes da força entre a luz e a matéria, fazendo com que a relação entre elas feita por Newton seja extremamente problemática.

Notamos que Newton foi cauteloso ao utilizar o termo “atração” – assim como no *Principia* –, referindo-se a um “impulso” ou “outro meio”. O trecho em que ele colocou que não discutiria “o modo como essas atrações podem ser efetuadas” é, no mínimo,

curioso, visto que ele dedicou a Proposição 10 a esse assunto. Esses dois fatores (o uso de analogias com outras forças e sua cautela ao utilizar a palavra “atração”) são fortes indícios de que Newton não estava certo sobre a origem e ação dessas forças, ora descrevendo em detalhes suas características, ora afirmando que não se aprofundaria no assunto.

Nos trechos seguintes, ele discutiu pela primeira vez como uma força de repulsão seria responsável por fenômenos como a reflexão.

[...] Visto que os metais dissolvidos em ácidos atraem somente uma pequena quantidade do ácido, sua força atrativa pode alcançar apenas uma distância pequena em relação a eles. E assim como em álgebra, onde as quantidades positivas desaparecem e cessam, ali começam as quantidades negativas, assim também na mecânica, onde cessa a atração, ali deve suceder uma virtude repulsiva. E que tal virtude existe parece decorrer das reflexões e inflexões dos raios de luz. Pois os raios são repelidos pelos corpos, nesses dois casos, sem o contato imediato do corpo refletor ou infletor. Parece decorrer também da emissão da luz, sendo o raio expelido com uma velocidade extremamente grande tão logo é liberado de um corpo brilhante pelo movimento vibratório das partes do corpo e chega além do alcance da atração. Pois a força que é suficiente para fazer com que ele volte atrás na reflexão pode ser suficiente para emití-lo [...]. (NEWTON, 1996, p. 286)

Sendo assim, após uma região de atração, existiria uma região em que o raio seria repellido. Newton não relacionou essa idéia de região de repulsão com suas explicações anteriores sobre a refração e sobre o “espaço de atividade da superfície refratora”.

Portanto, assim como para a materialidade da luz, Newton não foi muito além da especulação ao tratar as forças entre a luz e a matéria. Apresentando explicações obscuras e, por vezes, contraditórias, ele não conseguiu fundamentar seu tratamento mecânico para a luz por meio de justificativas plausíveis, fazendo com que ele adquirisse um forte caráter especulativo. Podemos concluir que Newton, apesar de

claramente procurar conceber uma relação entre suas teorias sobre mecânica com as sobre óptica, não conseguiu fundamentar satisfatoriamente essa tentativa.

Veremos na seção seguinte que embora as explicações de Newton sobre a natureza física da luz e a existência de forças entre a luz e a matéria no *Principia* e no *Óptica* não tenham sido detalhadas, elas foram suficientes para que seus seguidores do início do século XVIII desenvolvessem amplamente esses conceitos. Isso colaborou para o estabelecimento da óptica newtoniana como um fiel exemplar da concepção corpuscular, bem como para a crença na superioridade dessa concepção em relação a outras teorias para a luz.

5.2. Mudanças na óptica newtoniana

As mudanças na óptica newtoniana não ocorreram repentinamente, embora tenha acontecido num curto espaço de tempo. Este processo tampouco foi organizado, uma vez que muitos filósofos naturais que dele fizeram parte atuaram em décadas e lugares diferentes. Contudo, uma análise detalhada de obras publicadas no início do século XVIII revela que esse processo foi natural e muito relacionado com a visão indutivista da filosofia natural predominante no período.

Vários filósofos naturais que defendiam Newton se destacaram nesse processo. Neste trabalho, discutimos com detalhes os mais influentes: George Cheyne (1671-1743), John Harris, Desaguliers, Wilhelm Jacob ‘sGravesande (1688-1742), Robert Smith (1689-1768) e John Rowning (1701?-1771).

Reinterpretando e modificando as idéias do *Óptica* e dos *Principia*, esses e muitos outros seguidores de Newton elaboraram diversos modelos mecânicos “newtonianos” para explicar os fenômenos ópticos. O resultado dessas transformações foi uma óptica

newtoniana que pouco lembrava a original. Vários fenômenos estudados por Newton foram ignorados, enquanto vários outros sobre os quais nunca falou mais que um conjunto de palavras foram freqüentemente relacionados a ele.

Embora a influência da óptica newtoniana nos estudos sobre luz e cores do início do século XVIII seja clara, muitos de seus aspectos relevantes já não eram mais tratados, nem lembrados, poucas décadas depois da publicação do *Óptica*. Uma nova óptica newtoniana surgia nos volumes e capítulos dos seguidores de Newton. Nesta seção, discutiremos como isso aconteceu, analisando alguns dos principais precursores dessa transformação.

5.2.1. A pequenez da luz por Cheyne

Um dos primeiros trabalhos posteriores ao *Óptica* a construir uma relação entre a mecânica e a óptica de Newton foi livro *Philosophical principles of religion* de George Cheyne, publicado em 1705. Nessa obra, Cheyne apresentou oito considerações a favor da corpuscularidade da luz.

1. É progressiva, e requer um determinado tempo para ir de um lugar a outro, e não é propagada em um instante [...]. 2. Pode ser parada ou resistida em sua passagem de um lugar a outro, pela interposição de um corpo opaco, assim como outros fluidos são parados em seus cursos pela oposição de qualquer corpo sólido. 3. Pode ser congregada num espaço estreito, ou espalhada por um espaço mais largo, como é evidente da reflexão a partir de um espelho e da refração a partir de lentes. 4. Pode ser refletida, e a definição de seu movimento alterada, assim como outros corpos, e cumpre as mesmas leis que outros corpos cumprem [...]. 5. Pode ter seu curso modificado mais ou menos, de acordo com a natureza do meio pelo qual ela passa.³⁸ 6. Atua sobre os órgãos dos animais, e sobre todos os outros corpos, assim

³⁸ As considerações 4 e 5 também podem ser explicadas por teorias vibracionais, como Huygens fez em seu *Tratado da luz*. Na realidade, quase todas estas considerações já haviam sido discutidas por Huygens e não são necessariamente evidências a favor da corpuscularidade da luz.

como outras substâncias fluidas fazem, por os atingirem com uma determinada força, por propagarem neles um certo grau de movimento, por separar as partes que os compõem, e por colocá-los em movimento; todos esses efeitos nós vemos diariamente. 7. Pode ser confinada e mantida num determinado espaço, assim como outros fluidos. A luz do sol esquentará e aquecerá outros corpos sólidos e fluidos, efeitos que continuarão quando suas causas desaparecem; as partes da luz são anualmente aprisionadas em frutos, plantas e outros vegetais, como vemos pelo vigor e pelos sucos quentes que eles dão. 8. Por último, as partes da luz são dotadas de várias cores originais, algumas são vermelhas, outras azuis, outras amarelas, e algumas verdes, como Sir Isaac Newton demonstrou [...]. Todas essas são propriedades de corpos, e não podem pertencer a nada mais que substâncias materiais. (CHEYNE, 1715, pp. 68-9)

Os argumentos de Cheyne estão permeados por uma estratégia interessante e muito utilizada na época pelos newtonianos. Ele não procurou mostrar como a concepção corpuscular seria evidente a partir dessas considerações, ao contrário do que afirmou. Ele estabeleceu prontamente a materialidade da luz como verdade irrefutável, sem apresentar muitos argumentos a favor dessa idéia.

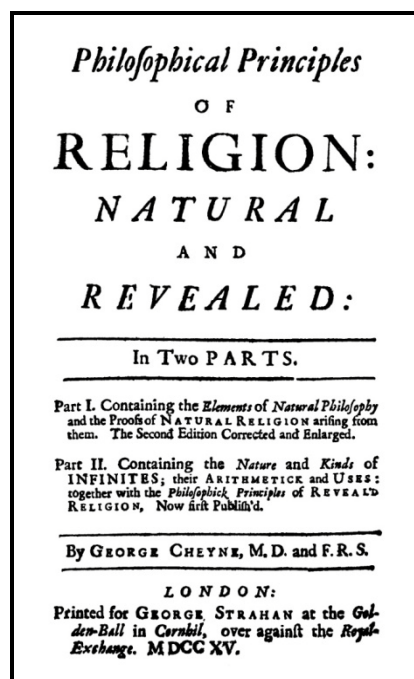


Figura 5.1 – Capa da versão de 1715 do *Philosophical principles of religion*.

Nos trechos seguintes, Cheyne discutiu a pequenez dos raios de luz. Segundo ele, as partículas de luz seriam extremamente pequenas, pois

elas passam através de quase todos os corpos que são penetráveis, tais como cristais, vidros, várias pedras, e quase todos os fluidos, exceto mercúrio; e ela passa livremente onde nenhum outro fluido, quão fino for, pode entrar [...]. Mas o que mais de tudo demonstra sua pequenez, é que a luz pode ser propagada a partir de inumeráveis corpos luminosos diferentes, sem qualquer oposição uma com a outra. (CHEYNE, 1715, pp. 69-70)

A seguir, Cheyne discutiu um experimento para explicar melhor essa suposição. Esse experimento consistia numa placa de metal vertical com um pequeno furo. Posicionando diversas fontes luminosas em distâncias diferentes de um lado da placa, na mesma altura do furo, seria possível observar as imagens de cada uma delas distintamente do outro lado. O fato de esses feixes de luz passarem uns pelos outros sem se interferirem levaria à conclusão de que os corpúsculos que constituíam a luz seriam diminutos.

A proposta de Cheyne sobre o pequeno tamanho da luz é um dos primeiros indícios das modificações e aperfeiçoamentos da óptica newtoniana original. Newton forneceu em seus trabalhos somente argumentos rudimentares para a construção de uma base coerente para a concepção corpuscular para a luz; seus seguidores procuraram ir além, estabelecendo novas propriedades para a luz. Cheyne foi um deles.

Nas partes posteriores do *Philosophical principles of religion*, Cheyne discutiu a interação entre a luz e os corpos por meio do conceito de força de atração, copiando

trechos das *Questões do Óptica* e de seções dos *Principia*. Inicialmente, ele repetiu as palavras de Newton na questão 5³⁹, entretanto, transformando a questão em afirmação.

Corpos e luz agem um sobre o outro, i.e. corpos agem sobre a luz ao emití-la, refleti-la, refratá-la e curvar seus raios, e a luz sobre os corpos, ao aquecê-los e ao por suas partes em um movimento vibratório, no qual consiste o calor, de acordo com as descobertas de Sir Isaac Newton. (CHEYNE, 1715, p. 74)

A atitude de Cheyne ao afirmar que Newton *descobriu* coisas reflete novamente a intenção em estabelecer suas idéias – mesmo as hipotéticas – como verdadeiras, além de ser mais um forte indício da transformação da óptica newtoniana. O uso da palavra “descoberta” normalmente é associado a descobertas de caráter experimental. No entanto, a ação entre luz e corpos é uma hipótese para explicar a interação entre os dois. Além disso, Newton não discutiu no que essa ação consistia.

Para aprofundar sua discussão sobre a interação entre a luz e os corpos, Cheyne repetiu o texto de Newton nos *Principia*, sobre a analogia entre o comportamento da luz e dos corpos (CHEYNE, 1715, pp. 74-78), descrito na seção anterior. Aparentemente, sua intenção era aplicar a estrutura teórica dos *Principia* – especificamente o conceito de atração – para explicar os fenômenos ópticos (CANTOR, 1983, pp. 34-35).

Por meio desse discurso, Cheyne foi um dos primeiros newtonianos a estabelecer explicitamente uma união de duas vertentes da filosofia natural newtoniana, a óptica e a mecânica. Muitos depois dele avançariam nesse sentido, com o intuito cada vez mais evidente de construir uma teoria corpuscular baseadas nessa união.

³⁹ A questão 5 é a seguinte: “Os corpos e a luz não agem mutuamente um sobre o outro, que dizer, os corpos sobre a luz ao emití-la, refleti-la, refratá-la e inflecti-la, e a luz sobre os corpos ao aquecê-los e ao imprimir em suas partes um movimento vibratório no qual consiste o calor?” (NEWTON, 1996, p. 251).

5.2.2. O *Lexicon* de Harris

No mesmo período da publicação do *Philosophical principles of religion* de Cheyne, o dicionário científico *Lexicon technicum* foi publicado por John Harris. No século XVIII, foram publicados vários dicionários e enciclopédias, destinados aos mais diversos temas, como a medicina e a construção civil (YEO, 2003). O *Lexicon* foi um dos primeiros dicionários científicos da época, contendo uma extensa lista de verbetes de termos técnicos e ligados à Filosofia Natural, como “Aceleração”, “Coesão”, “Cor”, “Músculos” etc. O livro de Harris foi publicado em dois volumes, em 1705 e 1710, ambos com diversas outras edições subseqüentes.

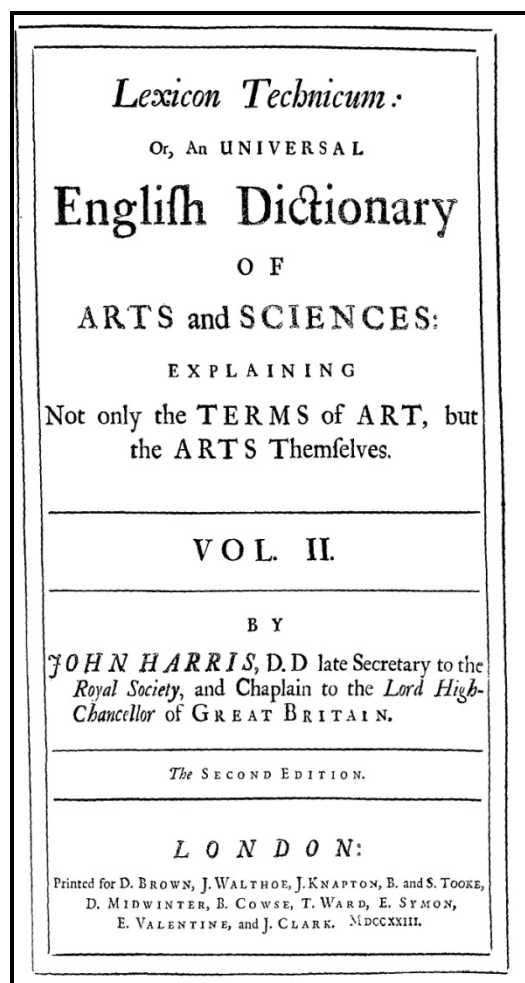


Figura 5.2 – Capa do segundo volume do *Lexicon Technicum*.

No prefácio do primeiro volume, Harris comentou sobre outros dicionários científicos publicados anteriormente, afirmando que o *Lexicon* supriria suas falhas ao complementar seus conteúdos, sendo uma fonte confiável de explicações sobre diversos termos técnicos. Sua intenção

não é escrever isso apenas para menosprezar as performances dos outros, ou construir para mim uma reputação sobre suas ruínas, mas eu penso que sou obrigado a informar o leitor a simples verdade das coisas, sem preferência ou afeição, para que ele possa estar informado de onde ganhar, e onde não ganhar, satisfação em suas investigações e leituras; e talvez, se isso fosse feito com frequência, tanto o tempo quanto o custo de adquirir o verdadeiro conhecimento seriam diminuídos. (HARRIS, 1716, Preface, s.p.⁴⁰)

A intenção de Harris era informar o leitor de forma rápida e concisa, possibilitando que ele conheça “a simples verdade das coisas” por meio de uma coleção de verbetes baseados nas obras dos mais renomados filósofos naturais da época, entre eles, Newton. Ele não pretendia discutir ou criticar as teorias que iria apresentar no *Lexicon*, somente descrevê-las. Isso é um reflexo do contexto da época, quando se buscava uma apresentação clara e objetiva do conhecimento proporcionado pela filosofia natural. Podemos dizer que esta tendência predomina até os dias de hoje, já que materiais didáticos e de divulgação raramente discutem aspectos problemáticos e dificuldades das teorias científicas, apresentando-as como verdades acabadas e irrefutáveis.

As discussões sobre óptica foram concentradas nos verbetes “Luz” e “Cor”, todas elas baseadas na óptica de Newton. O conteúdo desses dois verbetes diferiu

⁴⁰ Não há numeração de páginas no *Lexicon*.

substancialmente de um volume para outro, entretanto Harris manteve seu discurso fundamentado nas teorias newtonianas.

No primeiro volume, Harris baseou-se no artigo de Newton de 1672, a “Nova teoria sobre luz e cores” e somente no Livro I do *Óptica*, visto que a obra havia sido publicada poucos meses antes do aparecimento do *Lexicon*. No segundo volume, por sua vez, todos os livros do *Óptica* foram utilizados. Concentraremos nossa análise nesse segundo volume.

O segundo volume do *Lexicon* (1710)

Na época da publicação do segundo volume do *Lexicon*, em 1710, Harris provavelmente já havia analisado em detalhes o *Óptica* de 1704 e sua edição em latim, de 1710. Grande parte do conteúdo da obra de Newton que não havia sido utilizada no volume anterior foi exposta nesse volume, principalmente os conteúdos dos Livros II e III.

No verbete “Cor”, Harris copiou grande parte das observações da parte 1 e das proposições da parte 3 do Livro II do *Óptica*, principalmente sobre os anéis de cores em filmes finos e sobre as cores dos corpos naturais, sem nenhum comentário ou análise mais detalhada, apesar dos vários problemas, como os apontados no capítulo 3.

No verbete “Luz” Harris abordou o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão da luz, meramente repetindo o texto de Newton no *Óptica*. Nos trechos seguintes, ele discutiu a existência de forças entre a luz e os corpos por meio das *Questões* do *Óptica*, particularmente da questão 29. Em nenhum momento, Harris comentou sobre o caráter hipotético das descrições de Newton, transformando as questões em afirmações.

Portanto, os raios de luz **são certamente** pequenas partículas, **realmente** emitidas pelo corpo luminoso e refratadas por alguma atração, pela qual a luz e o corpo sobre o qual ela cai agem mutuamente um no outro, pois tais partículas ou corpúsculos serão transmitidos através de meios uniformes em linhas retas, sem qualquer inflexão, como os raios de luz fazem. (HARRIS, 1723, verb. “Light”, s.p., grifo nosso)

Como vimos na seção 5.1, Newton não defendeu abertamente a materialidade da luz. As palavras de Harris demonstram novamente a aceitação das idéias de Newton e a evidente mudança do estado epistemológico de suas afirmações, assim como visto no livro de Cheyne. Esse tipo de alteração de especulações para afirmações esteve presente em muitos trabalhos de seguidores das teorias newtonianas do período.

Nos trechos seguintes, Harris explorou o conceito de atração, novamente baseando-se na questão 29 do *Óptica*.

Corpos transparentes agem sobre os raios de luz a certa distância, quando eles os refratam, refletem e inflectem; e reciprocamente, os raios de luz agem sobre eles, também a uma pequena distância, agitando e aquecendo suas partículas. E esta ação e reação, que acontece a uma distância, é muito parecida com o que chamamos de **força de atração, ou gravidade, em outros corpos**. (HARRIS, 1723, verb. “Light”, s.p., grifo nosso)

As palavras de Harris são praticamente as mesmas de Newton na questão 29, exceto pelos termos “força de atração” ou “gravidade”, os quais Newton não utilizou nessa questão. O uso dessas palavras, aparentemente no intuito de completar o discurso newtoniano, aponta para o possível anseio em unir as explicações dos fenômenos ópticos discutidos no *Óptica* com os conceitos de força de atração e gravidade discutidos no *Principia*. Obviamente, Harris não mencionou as dificuldades envolvidas em explicar a reflexão com esse modelo.

No verbete “Atração”, Harris discutiu detalhadamente a atração entre a luz e a matéria, novamente baseando-se no conteúdo das *Questões*.

Sir Isaac Newton, no final da edição em Latim de seu livro excelente de óptica, Questão 22⁴¹, mostra que aqueles corpos que são de mesma natureza, tipo e virtude, por quanto menor um corpo é do outro [em volume], maior é sua força de atração, em proporção a sua magnitude [...]. Portanto, os raios de luz, sendo os menores de todos os corpos que conhecemos, devem necessitar da maior e mais forte força atrativa. (HARRIS, 1723, verb. “Attraction”, s.p.)

Isto não foi dito no *Óptica*. Newton utilizou argumentos parecidos, mas para tratar a coesão das partículas dos corpos.

Ora, as menores partículas de matéria podem aderir umas às outras pelas atrações mais fortes e compor partículas maiores cuja virtude é ainda mais fraca, e assim por diante, por muitas sucessões, até que a progressão termine nas partículas maiores, das quais dependem as operações em química, e as cores dos corpos naturais e que compõem corpos de uma magnitude perceptível pela coesão. (NEWTON, 1996, p. 285)

Apesar de Newton abordar a ligação entre o tamanho de partículas e suas forças de atração, a semelhança com os raios de luz e a matéria não ficou evidente. Harris claramente procurou unir a mecânica e a óptica de Newton por meio de argumentos simples, freqüentemente copiando o conteúdo das *Questões*. Entretanto, ao invés de manter o caráter especulativo dessas, ele as transformou em afirmações, além de complementar em alguns momentos o texto de Newton.

⁴¹ Comparando as descrições de Harris com o conteúdo dessa questão, acreditamos que Harris se referiu à atual Questão 31 da edição em português. Ver Newton (1996), pp. 273-293.

5.2.3. As duas forças de Desaguliers

No capítulo 4, discutimos o papel das conferências de filósofos naturais no processo de popularização da óptica newtoniana no início do século XVIII. Nessa análise anterior, destacamos o papel determinante de Desaguliers e de suas conferências. Nesta subseção, estudaremos um produto de suas conferências, o livro *Physico-mechanical lectures*, publicado em 1717.

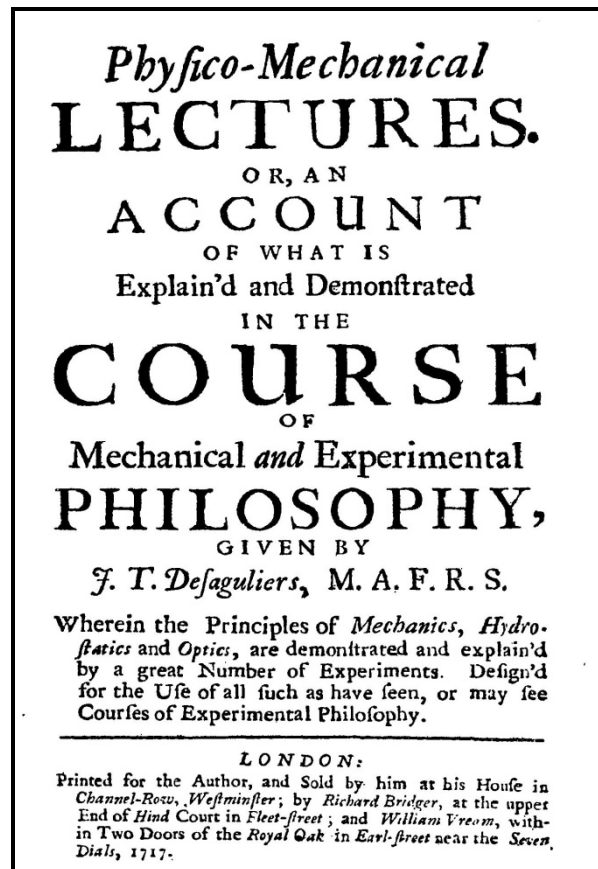


Figura 5.3 – Capa do *Physico-mechanical lectures*.

Esta obra é uma coletânea dos assuntos tratados nas conferências de Desaguliers, dividida em três partes: mecânica, hidrostática e óptica. Logo na capa do trabalho, ele ressaltou que suas discussões ocorrerão de forma “onde os princípios da mecânica,

hidrostática e óptica, são demonstrados e explicados por um grande número de experimentos” (DESAGULIERS, 1717, s.p.).

A óptica foi tratada entre as aulas 16 e 22. No início dessa parte, Desaguliers postulou o que considerava um princípio básico e evidente da óptica: a corpuscularidade da luz.

Que a luz é um corpo, aparece de sua reflexão, refração, composição, divisão, e seu movimento no tempo; mas especialmente por ser propagada em linhas retas, e por ser parada por um obstáculo (o quão fino for, se não transparente), o que mostra que ela não pode ser uma ação sobre o meio, que seria propagada além de um obstáculo, como no caso do som. (DESAGULIERS, 1717, p. 42)

Como vemos, os argumentos de Desaguliers são semelhantes aos de Cheyne. É curiosa essa crença na materialidade da luz pela simples observação de fenômenos, como a refração e a reflexão, que podem ser explicados por diversas outras teorias para a luz, e que de fato foram. Assim como no discurso de Cheyne, a corpuscularidade da luz é assumida como princípio básico e irrefutável.

A partir desse princípio, Desaguliers explicou vários fenômenos ópticos, por exemplo, a opacidade e cores dos corpos, as diferentes refrangibilidades dos raios de luz e a refração e reflexão total. Nestes dois últimos, ele explorou a interação da luz com os corpos por meio de forças.

Segundo Desaguliers, a causa física da refração seria a maior ou menor atração de um meio exercida sobre a luz. A partir disso, ele descreveu como seria o comportamento de um raio de luz passando do ar para o vidro.

[...] no caso de um raio vindo obliquamente do ar para o vidro, assim que o raio entra no vidro, ele sofre a ação de duas forças [...]. (DESAGULIERS, 1717, p. 46)

Essas duas forças formariam dois lados de um paralelogramo. Dessa forma,

[...] pelas leis da mecânica, aquele raio [o que foi refratado] deverá mover-se na diagonal do paralelogramo, cujos lados representam aquelas duas forças, o qual [o raio] está conseqüentemente mais perto da perpendicular. (DESAGULIERS, 1717, p. 46)

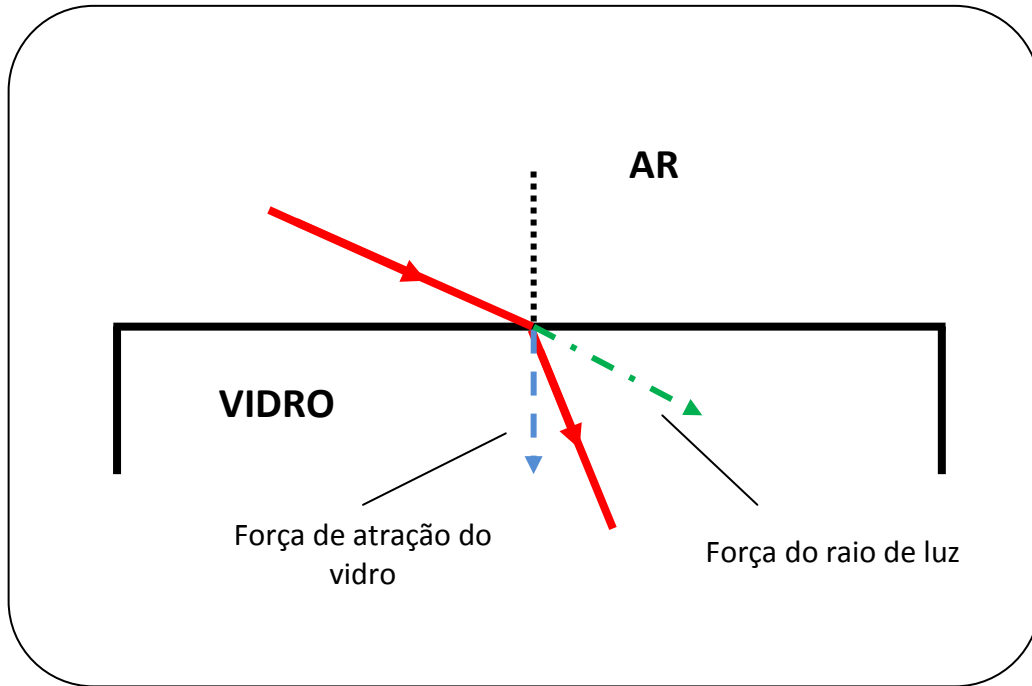


Figura 5.4 - Segundo Desaguliers, a força de atração do vidro e a força do raio de luz formariam os lados de um paralelogramo. O raio de luz, quando refratado, seguiria a diagonal desse paralelogramo.

Sendo assim, a força de atração do vidro aceleraria o raio de luz. Se ele estivesse vindo no sentido contrário, do vidro para o ar, a força retardaria seu movimento. No artigo “A hipótese da luz”, Newton elaborou uma explicação semelhante, porém, utilizando a idéia de “pressão” entre dois meios de densidades etéreas diferentes (NEWTON, 2002, pp. 41-42). Como vimos acima, no Livro II do *Óptica*, ele utilizou um argumento para deduzir a lei da refração.

Nos trechos seguintes, Desaguliers descreveu como a atuação dessa força poderia ser observada, através de um experimento com um prisma e uma vela.

Coloque uma das superfícies de um prisma numa posição horizontal, como o ângulo oposto a ela virado para cima; e olhando muito obliquamente para ele, a luz de uma vela vista por reflexão [total] irá atingir o olho muito vividamente, parecendo ser refletida pelo ar contíguo ao vidro [...]. (DESAGULIERS, 1717, p. 47)

Segundo Desaguliers, se o raio de luz estiver numa certa inclinação em relação à superfície inferior do prisma, sua força não seria suficiente para superar a força de atração exercida pelo prisma. Portanto, o raio sairia do vidro, descreveria uma pequena curva e voltaria na mesma inclinação, como mostra a figura 5.5.

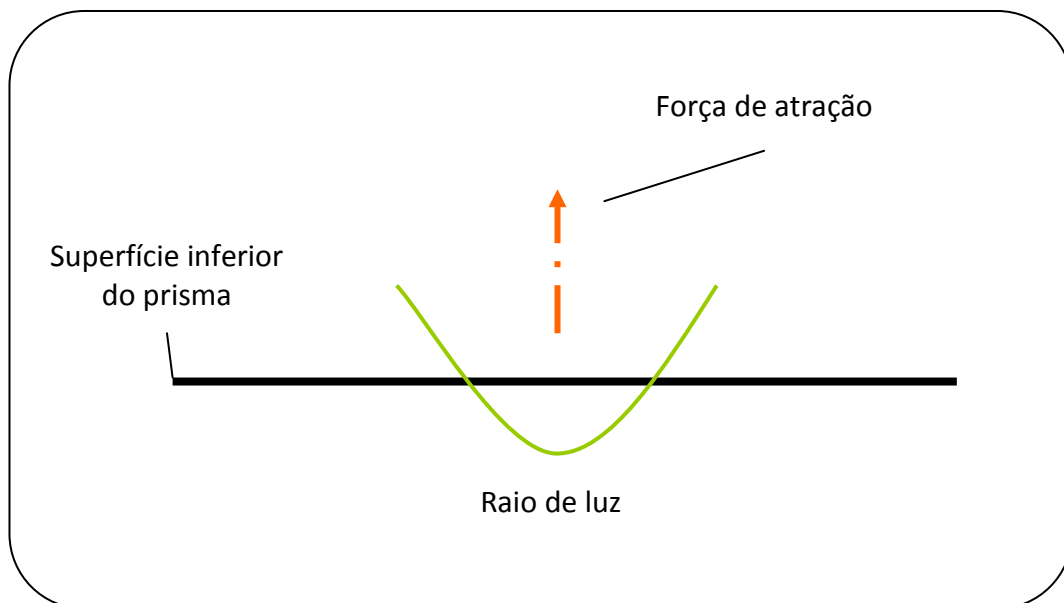


Figura 5.5 – Raio de luz sendo curvado pela ação da força de atração do prisma.

Se uma superfície de outro prisma fosse pressionada contra essa superfície, não haveria reflexão e o raio continuaria a seguir sua trajetória retilínea, uma vez que a atração exercida pelos dois prismas se igualaria.

Desaguliers procurou mostrar por meio do conceito de forças o comportamento dos raios de luz ao passarem de um meio menos denso (o ar) para um mais denso (o vidro), assim como Newton. Entretanto, diferentemente dele, Desaguliers estabeleceu

que duas forças agiriam sobre os raios, uma intrínseca a eles e outra devida ao corpo mais denso. Acreditamos que, para ele, a força intrínseca ao raio de luz seria equivalente a sua velocidade ao atingir o meio refrator, pressuposto que Newton utilizou em seus trabalhos. Além disso, ele não utilizou o conceito de “espaço de atração da superfície refratora”, presente no Livro II do *Óptica*.

As explicações de Desaguliers não levam em conta a refração e reflexão parciais dos raios de luz. Ele (como Newton) só tratou a refração, sendo a reflexão total um caso particular. Seria esperado que esse assunto fosse discutido nos trechos seguintes, no entanto, ele partiu para o tratamento de tópicos de óptica geométrica, como o funcionamento de lentes e microscópios, e analisou o funcionamento do olho.

É interessante notar que, assim como a questão da materialidade da luz, a existência de forças para Desaguliers parece ser algo já estabelecido, sem a necessidade de um estudo mais detalhado e aprofundamentos da argumentação a favor desta idéia. Suas descrições e análises não comentam sobre as dificuldades dessa e de outras explicações, apresentando-as como um conjunto de assuntos indiscutíveis. Claramente, seu discurso se ajusta na concepção de Filosofia Natural apregoada pelas conferências populares, ou seja, superficial e objetiva, como uma lista de verdades sobre a natureza.

5.2.4. O “espaço de atração” de ‘sGravesande

Wilhelm Jacob ‘sGravesande foi um dos filósofos naturais mais celebrados de seu tempo. Por meio de suas obras, ele difundiu o conhecimento newtoniano como uma descrição verdadeira do mundo. Entre seus trabalhos mais importantes, está o livro *Mathematical elements of natural philosophy*, traduzido para o inglês por Desaguliers e publicados em dois volumes, em 1720 e 1721. Esse livro tornou-se uma das mais importantes obras de Filosofia Natural na Grã-Bretanha (CANTOR, 1983, p. 35).

No prefácio do *Mathematical elements*, ‘sGravesande explicitou sua grande admiração por Newton, particularmente, por seus trabalhos em óptica.

Antes dele [Newton], os naturalistas estavam no escuro em inumeráveis coisas relacionadas à luz, especialmente às cores. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. ix)

Assim como Newton, ‘sGravesande foi cauteloso ao abordar a natureza física da luz, afirmando que ela seria algum tipo de movimento do fogo.

Quando o fogo entra nos seus olhos em linhas retas, pelo movimento que ele propaga às fibras no fundo do olho, ele excita a idéia de luz [...]. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 14)

Entretanto, ‘sGravesande não manteve a mesma cautela ao discutir a interação da luz com os corpos por meio de forças. Ele explorou e desenvolveu amplamente essa idéia, baseando-se principalmente nos fenômenos da inflexão e refração.

Segundo ‘sGravesande, o fato de algum objeto ser queimado pelo fogo mostraria que este seria atraído pelo mesmo. Sendo assim, o mesmo efeito poderia ser observado para a luz.

Fogo, assim como foi dito, é atraído pelos corpos; os notáveis efeitos dos quais a atração pode ser observada na queima de corpos são também sensíveis na luz, pois quando a luz passa perto dos corpos, ela é tirada de seu caminho reto [...]. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 24)

Isso explicaria a inflexão da luz. Nos trechos seguintes, ‘sGravesande descreveu um experimento com duas pequenas lâminas de aço separadas por uma pequena distância, como um dos experimentos apresentados por Newton no Livro III do *Óptica*. Com um feixe de luz incidindo sobre elas, franjas alternadamente claras e escuras apareceriam num anteparo colocado a uma determinada distância delas.

À medida que a distância entre as lâminas diminuía, as franjas ficavam mais nítidas. Segundo ‘sGravesande, isso seria suficiente para deduzir que

[...] a luz é atraída por corpos que inflectem seus raios, pois se não existisse um movimento em direção ao corpo, todo o feixe teria continuado em seu movimento direto [...]. Também está provado que esta ação é aumentada à medida que a distância [entre o feixe de luz e as lâminas] é diminuída. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 25)

No *Óptica* e no *Principia*, Newton não deixou claro se uma possível força entre a luz e a matéria diminuiria com a distância entre eles. Entretanto, provavelmente ele supunha que isso ocorria, uma vez que estabeleceu na proposição 10 do *Óptica* a idéia de “espaço de atividade da superfície refratora”. ‘sGravesande proporia algo semelhante no *Elementos matemáticos*.

Nos trechos seguintes, ‘sGravesande abordou a refração, considerando-a como um caso especial da inflexão. Segundo ele, a condição para que a refração ocorresse era a diferença de densidade entre dois meios que permitiriam a passagem de luz, fazendo com que o meio mais denso atraísse mais intensamente o raio de luz que o meio menos denso.

A partir disso e baseando-se na figura 5.6 logo abaixo, ele explicou a refração da seguinte maneira:

Seja EF a separação dos meios e seja X o meio mais denso e Z o menos denso. Todas as partículas têm uma força atrativa, e esta força também está presente na luz. Seja a distância na qual as partículas exercem sua ação, tal que é compreendida entre as linhas EF e GH. Portanto, a luz que vem entre aquelas linhas será atraída pelo meio X.

Na distância da linha GH, somente as partes extremas do meio X agem sobre a luz; numa distância menor, tanto elas quanto outras partes agem, de modo a aumentar a força atrativa [...]. No meio mais denso X, esteja a linha IL a mesma distância de

EF, assim como GH no meio Z está. Deixe a luz entrar no meio X, e ela será, por todos os lados, atraída pelas partículas do meio [...].

Enquanto a luz estiver entre as linhas EF e IL, a força atrativa é mais forte em direção à IL, porque há mais partículas que atraem para aquele lado; mas à medida que o número de partículas que agem no sentido contrário aumenta, ou seja, à medida que a distância em relação a EF aumenta, a força em direção a IL é diminuída até, exatamente na linha IL, a luz ser igualmente atraída por todos os lados; o que também acontece em todo lugar no meio X, além de IL. ('sGRAVESANDE, 1726, pp. 26-27)

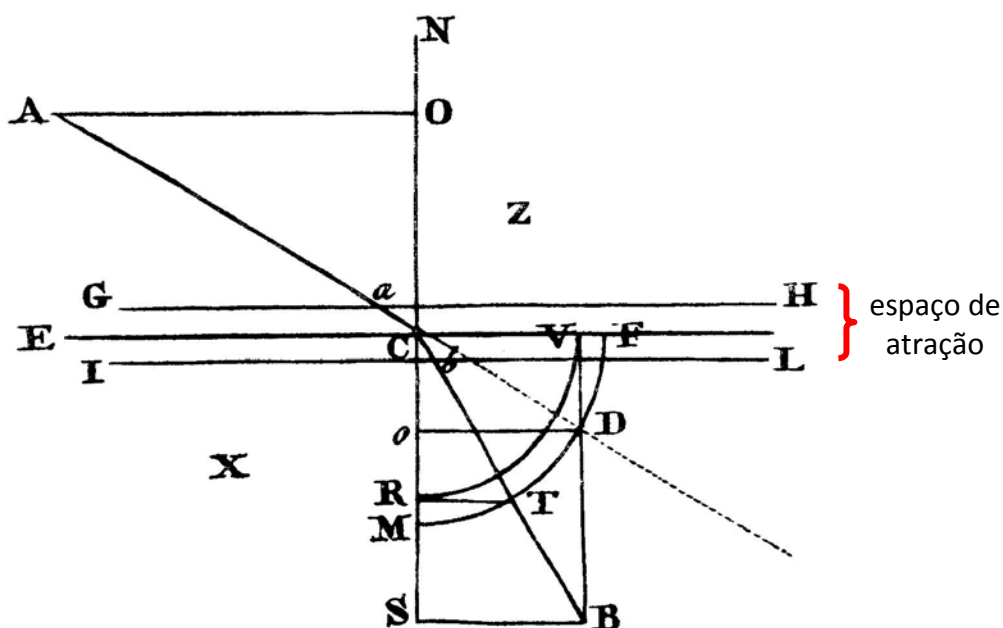


Figura 5.6 - Esquema de 'sGravesande para explicar a refração da luz. Em destaque, o “espaço de atração”.

A idéia central da explicação de 'sGravesande é a seguinte: os dois meios Z e X exercem sobre os raios de luz forças de atração em direção às suas superfícies; a intensidade da força dependeria da densidade desses meios, sendo que essas forças interfeririam umas nas outras.

Até a linha GH e depois da linha IL, a força de atração exercida pelos dois meios se igualaria em todos os lados, fazendo com que o raio não fosse desviado. No espaço

entre essas linhas, a força de atração exercida pelo meio mais denso superaria a exercida pelo meio menos denso.

‘sGravesande explicou melhor essa idéia considerando, na figura 5.6, o raio “Aa”. Assim que ele passasse pela linha GH, a força de atração aumentaria em direção ao meio mais denso X. Isso faria com que o raio tivesse sua trajetória desviada em direção a esse meio, fazendo uma curva “ab”, como vemos na figura.

O raio continuaria a sofrer essa atração até chegar à linha IL, quando a atração seria igual em todos os lados. Dessa forma, o raio seguiria sem interferência essa nova trajetória retilínea.

‘sGravesande denominou o espaço entre as planos GH e IL como “espaço de atração”.

O espaço terminado pelos planos GH e IL é chamado de espaço de atração (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 31)

Notavelmente, ‘sGravesande ofereceu uma abordagem mais minuciosa que a de Newton com seu “espaço de atividade da superfície refratora”. Ele descreveu e analisou detalhadamente o assunto, abordando explicitamente a idéia de força de atração e seu curto alcance sobre os raios de luz. Ao contrário de Newton, ele não estabeleceu qualquer relação entre essa força e outras forças, como a gravitacional e a elétrica.

As leis da refração seriam explicadas pela diferença entre as forças de atração no “espaço de atração”. À medida que a diferença de densidade, e portanto, a diferença entre as forças diminuísse, o desvio sofrido pelo raio também diminuiria, até que não ocorria refração, como acontece entre superfícies de meios de densidades iguais.

Contudo, o conceito de “espaço de atração” de ‘sGravesande contém alguns problemas, por exemplo, os limites dessa região não serem mencionados e o fato desse conceito só explicar uma refração ideal e reflexão total.

Problemas como esses ficam claros em outros trechos do livro. Ao explicar a interação de corpos opacos com a luz, ‘sGravesande elaborou uma explicação sem a idéia de forças.

Um corpo que não é lúcido, e intercepta a luz, é dito opaco.

Vários, entre todos os corpos opacos, quando muito polidos (exceto corpos perfeitamente pretos, se há algum) têm a propriedade de dividir a luz; pois eles refletem a luz, tal que os raios de todos os pontos, batendo de volta, são divididos e vão em todas as direções, tal que todos os pequenos pontos do corpo se tornam pontos radiantes, a partir dos quais a luz é propagada por todas as direções. (‘sGRAVESANDE, 1726, pp. 58-59)

As descrições de ‘sGravesande só afirmam que o corpo opaco tem a propriedade de dividir os raios, não explicando se isso é devido a uma força ou a outra causa. Isso é interessante, uma vez que nos trechos acima ele abordou a atração exercida sobre raios de luz por lâminas de aço, que são corpos opacos. No *Óptica*, Newton também não se ateu a essa questão.

Nos trechos seguintes, ‘sGravesande explicou a reflexão, porém de forma não muito clara. Após utilizar as mesmas palavras de Newton na proposição 8 do Livro II do *Óptica* para estabelecer que a reflexão não seria causada pelo choque da luz com as partículas dos corpos, ele afirmou que esse fenômeno

[...] é causado pelo mesmo poder pelo qual os raios são refratados, que produz diferentes efeitos em diferentes circunstâncias. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 85)

Esse argumento foi utilizado por Newton na proposição 9 do Livro II para explicar fenômenos como a refração, a reflexão e os anéis coloridos em filmes finos. É importante notarmos que a reflexão discutida por ‘sGravesande nesse trecho é a reflexão total. Assim como Newton e Desaguliers, ele explicou conceitualmente esse fenômeno

por meio da idéia de forças entre os raios de luz e a matéria. Porém, ao abordar a reflexão e refração parciais, ‘sGravesande ofereceu outros argumentos.

Todavia, que todas as reflexões não dependem dessa atração da mesma maneira, é evidente; pois naquele caso, no qual a refração é feita, parte da luz é refletida; pois a luz não penetra totalmente de um meio menos denso ao mais denso, pois mesmo nesse caso, no qual a atração oposta à reflexão é a máxima possível, ainda alguns raios são refletidos. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 86)

Como vemos, ‘sGravesande reconheceu que a reflexão e refração parciais não são explicadas pela atração do corpo. Suas palavras ressaltam que seu conceito de “espaço de atração” dispõe um tratamento adequado somente para um caso ideal de refração, o que não ocorre na natureza.

Dessa forma, ‘sGravesande não conseguiu explicar a refração e reflexão parciais coerentemente. Assim como Newton, Desaguliers e outros autores do período, sua análise dinâmica dos fenômenos ópticos ficou restrita à explicação da refração (como um caso ideal) e à reflexão total pela ação de forças atrativas.

Mesmo não afirmando explicitamente que se baseou nas teorias newtonianas⁴², vemos que as explicações de ‘sGravesande são semelhantes às do *Óptica* e dos *Principia*, incluindo seus aspectos problemáticos. Newton também enfrentou dificuldades em explicar os fenômenos citados acima. No entanto, ‘sGravesande foi muito além dele ao detalhar a ação de forças sobre o raio de luz ao elaborar o conceito de “espaço de atração”. Apesar dos problemas conceituais, essa idéia denota novamente a intenção dos autores da época em tratar mecanicamente os fenômenos ópticos.

⁴² Embora sua preferência por elas tenha ficado evidente no prefácio do livro, descrito acima.

5.2.5. O “espaço de atividade” de Smith

Tão importante quanto os filósofos naturais anteriores, Robert Smith expôs em seu *A compleat system of optics* (1738) um elaborado tratamento dos fenômenos ópticos baseado na óptica newtoniana. O livro foi muito influente na época, sendo traduzido para o alemão e o francês (CANTOR, 1983, p. 34; GJERSTEN, 1986, p. 549). Assim como Cheyne, Harris e Desaguliers, Smith considerou a materialidade da luz um resultado óbvio.

Quem quer que tenha considerado que um número de propriedades e efeitos da luz são exatamente semelhantes às propriedades e efeitos dos corpos de volume perceptível, encontrará dificuldade em conceber a luz sendo qualquer coisa a não ser partículas da matéria muito pequenas e distintas. (SMITH, 1738, p. 1)

Da mesma forma que os outros autores, partindo do pressuposto de que a luz seria um corpúsculo, Smith buscou tratar os mais variados fenômenos ópticos a partir do conceito de forças. Sobre a reflexão, ele afirmou – assim como Newton – que ela não seria causada pelo choque das partículas de luz com o corpo, mas sim

[...] por algum poder do corpo o qual está igualmente espalhado por toda sua superfície, e pelo qual ele age sobre o raio de luz sem contato imediato. (SMITH, 1738, p. 87)

Nos trechos seguintes, Smith copiou as descrições de Newton das observações 5 e 6 do Livro III, que relatavam experimentos feitos com facas, a fim de ilustrar a inflexão da luz. Segundo ele, Newton

[...] mostrou a partir desses e de outros experimentos que corpos agem sobre a luz em algumas circunstâncias por um poder atrativo e em outros por um poder repulsivo. (SMITH, 1738, p. 88)

Esse trecho do livro de Smith reflete um aspecto importante do processo de aperfeiçoamento da óptica newtoniana: nos experimentos sobre inflexão da luz descritos no Livro III do *Óptica*, Newton não afirmou que o corpo tem um poder atrativo ou repulsivo, se limitando a dizer que ele atuava sobre o raio de luz, fazendo com que ele se curvasse (NEWTON, 1996, p. 238). As palavras de Smith ilustram sua tentativa de incorporar a idéia de atração e repulsão dos corpos às descrições newtonianas, ilustrando a tendência do período.

Após copiar várias descrições do *Óptica*, Smith elaborou o conceito de “espaço de atividade”, muito semelhante ao conceito de Newton e ao “espaço de atração” de ‘sGravesande. Segundo ele, o poder de um corpo se estenderia até dois planos limites, paralelos um ao outro e à superfície do corpo, como mostra a figura 5.7. Quando um raio de luz entra no “espaço de atividade”,

[...] suas partículas serão aceleradas ou retardadas [...], conforme o poder do meio agir a favor ou contra o curso de seus movimentos; e quando as partículas saem daquele espaço, elas prosseguirão com uma velocidade uniforme. (SMITH, 1778, p. 21)

O “espaço de atividade” teria regiões tanto de repulsão, que fariam com que o raio fosse refletido, e regiões de atração, que fariam com que o raio fosse refratado ou refletido totalmente. A intensidade da atração ou repulsão dependeria da densidade refrativa do corpo.

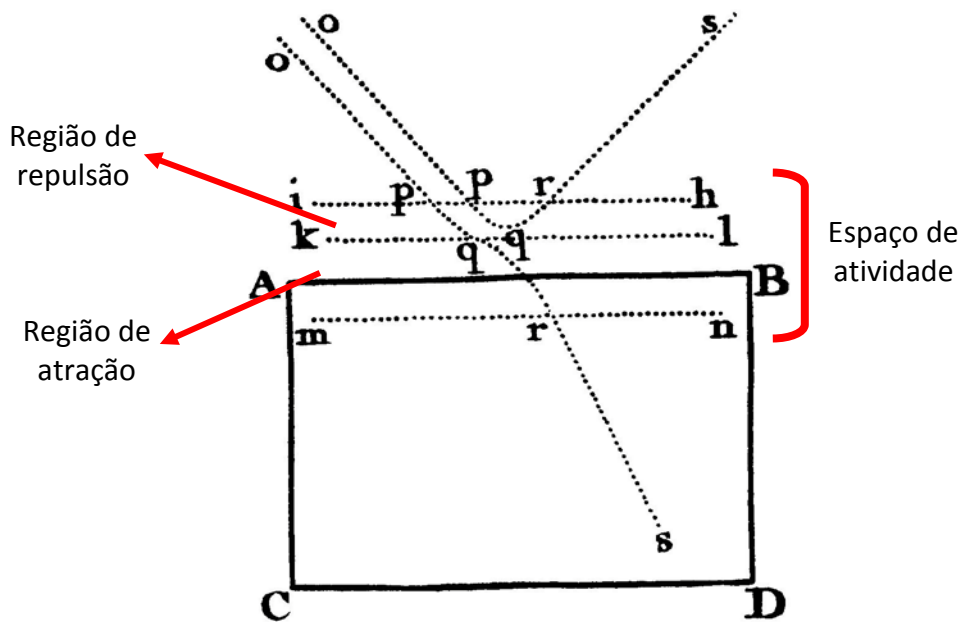


Figura 5.7 – O “espaço de atividade” de Smith e suas regiões de atração e repulsão.

Com o “espaço de atividade”, Smith explicou o fenômeno da refração e da reflexão total de uma forma muito semelhante ao “espaço de atividade da superfície refratora” de Newton e ao “espaço de atração” de ‘sGravesande. Se um raio de luz estivesse vindo de um meio menos denso para um mais denso e obliquamente em relação às suas superfícies, assim que ele entrasse na região de atração do “espaço de atividade”, haveria uma força que o aceleraria em direção ao meio mais denso, fazendo com que sua trajetória fosse modificada ao ser refratado. Se o raio viesse do meio menos denso em direção ao meio mais denso, a força desse último, na região de atração, faria com que o raio fosse refletido totalmente. Quando o raio saísse desse espaço, ele seria atraído da mesma maneira em todas as direções, não tendo sua trajetória modificada novamente.

Contudo, ao contrário de ‘sGravesande, Smith apresentou um avanço significativo na explicação da refração e reflexão parciais dos raios de luz na superfície de corpos transparentes e a reflexão em corpos opacos. Como vimos anteriormente, ‘sGravesande

não se aprofundou nessas questões; Smith, por sua vez, procurou discutir a atuação de uma região de repulsão. Segundo ele, a noção de Newton

[...] sobre a causa e maneira da reflexão por corpos opacos, e da primeira superfície de corpos transparentes, parece ser a seguinte [ver figura 5.8]. Deixe o poder atrativo do meio mais denso ABCD terminar na linha kl , e lá deixe o poder repulsivo começar, e deixe ele terminar na linha paralela hi ; e quando um raio op do ar atinge o espaço de repulsão $hikl$, ele será perpetuamente desviado de uma direção a outra pela oposição da força repulsiva, e assim descreverá uma curva pqr [destacada em vermelho na figura 5.8], até ela emergir daquele espaço em r com o mesmo ângulo que imergiu em p , e então procederá numa linha reta rs . Este será o curso do raio se sua força progressiva for fraca, ou se a força repulsiva for tão forte ao ponto de impedi-lo de entrar no espaço de atração $klmn$. Pois se ele entrar nesse espaço, ao invés de ser refletido, ele será refratado no meio mais denso. (SMITH, 1738, p. 93)

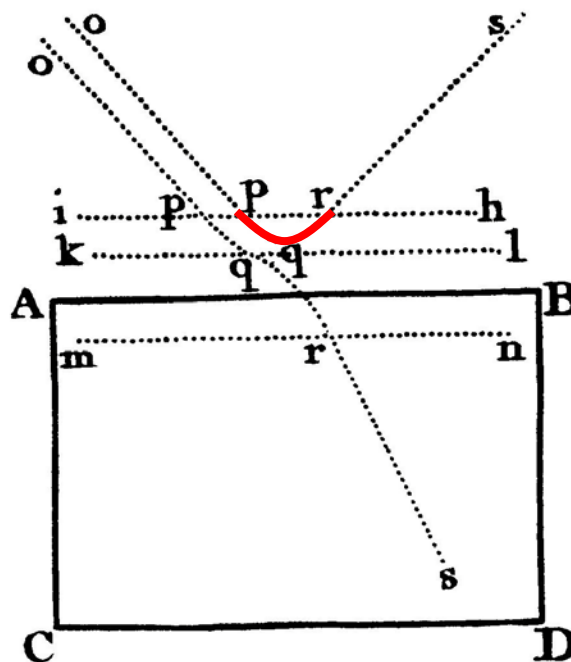


Figura 5.8 - Em destaque, a curva descrita pelo raio de luz na reflexão.

Segundo Smith, essa região de repulsão seria menor que a região de atração e que não se estenderia a uma grande distância da superfície do corpo. Apesar da referência a Newton, este não escreveu nada parecido no *Óptica*, nos *Principia* e em trabalhos anteriores. O fato de Smith mencioná-lo com frequência – atribuindo a ele explicações que não elaborou – e às suas teorias indica a forte influência do pensamento newtoniano em suas idéias.

As hipóteses de Smith são claras e bem desenvolvidas, representando um interessante contraste com as explicações vagas de Newton. Contudo, algumas considerações devem ser feitas. Primeiramente, Smith estabeleceu a existência da região de repulsão somente no meio menos denso. Fica a dúvida se essa região também existiria no meio mais denso e se influenciaria na passagem de um raio por esse meio em direção ao mais rarefeito. Além disso, não foi discutido por Smith o que estabelece o começo e o fim dessas regiões de atração e repulsão.

Porém, o que mais chama atenção é o fato de Smith ter omitido nos trechos seguintes a explicação de Newton para a refração e reflexão parciais por meio do conceitos de estados da luz.

E, na realidade, parte da luz incidente é sempre refletida e parte refratada em todas as superfícies transparentes; causa da qual nosso autor [Newton] também já considerou. (SMITH, 1738, p. 93)

É curioso que, ao final dessa descrição, Smith citou as páginas do *Óptica* em que Newton apresentou e discutiu os estados. Isso é um indício de que esse conceito foi considerado inadequado à incursão da óptica newtoniana em bases conceituais da mecânica.

Evidentemente, o conceito de “espaço de atividade” elaborado por Smith representou um desenvolvimento das idéias newtonianas sobre o assunto. Assim como

outros autores da época, Smith se preocupou em descrever a configuração de forças de curto alcance, que explicariam diversos fenômenos ópticos (CANTOR, 1983, pp. 39-40). Ele discutiu a existência de regiões de repulsão, o que explicaria, por exemplo, a reflexão da luz, embora seus argumentos tenham apresentado problemas semelhantes das explicações de Desaguliers e ‘sGravesande. Vários pontos não foram explicados e outros simplesmente omitidos, como o conceito de estados da luz.

5.2.6. Rowning e a força de coesão

Outro filósofo natural a figurar na lista dos precursores da transformação da óptica newtoniana foi John Rowning. Membro do *Magdalene College* em Cambridge e um dos principais conferencistas do início do século XVIII, ele publicou uma obra bastante incomum em relação aos trabalhos de outros newtonianos: *o A compendious system of natural philosophy* (1734-1738).

O motivo dessa classificação de “incomum” deve-se a pouca exaltação às teorias newtonianas, embora a análise de seu texto ratifique que ele adotou as idéias de Newton e as de seus seguidores. Seu discurso é claro e objetivo, concentrado no tratamento matemático e físico dos fenômenos naturais.

A óptica foi discutida na terceira parte de seu compêndio. Segundo ele, os fenômenos ópticos também seriam explicados por conceitos derivados das teorias sobre a mecânica dos corpos:

Ao tratar a natureza dos fluidos, eu expliquei tais fenômenos como resultado da reunião de várias partículas de matéria agindo sob as leis do mecanicismo; o objetivo do meu projeto agora me leva a mostrar como, de acordo com as mesmas leis, tais fenômenos [os ópticos], como resultado da emissão de infinitas pequenas partículas de corpos luminosos, são produzidos [...]. (ROWNING, 1737, p. 3)

Novamente, a materialidade da luz é adotada como ponto chave das discussões. Nos trechos seguintes, Rowning iniciou sua argumentação sobre a interação entre a luz e a matéria por meio de forças. Antes de prosseguirmos, é necessário conhecermos algumas de suas idéias.

Na primeira parte do compêndio, Rowning enunciou três tipos de poderes dos corpos: ação de gravitação de longa distância, ação de repulsão de curta distância e ação de coesão de curta distância (ROWNING, 1734, p. 12, 17). Esta última explicaria, além da coesão das partículas dos corpos, o comportamento da luz perto de outros corpos. Voltando à terceira parte do livro, ele afirmou:

As partículas de luz estão sujeitas às leis da atração de coesão assim como outros pequenos corpos, pois se um raio de luz passar pelos gumes de uma faca, ele será desviado de seu curso natural, e será inflectido em direção ao gume da faca. A mesma inflexão acontece com um raio quando ele entra obliquamente em uma substância mais densa ou mais rarefeita que aquela que ele estava antes, em cujo caso é dito que ele é refratado [...]. (ROWNING, 1737, p. 8)

Notemos que, diferentemente de Newton, Rowning tratou a inflexão e a reflexão como fenômenos de mesma natureza. Ao discutir a refração, ele desenvolveu seus argumentos sobre essa força de atração. Suas idéias são muito semelhantes às de ‘sGravesande e Smith, embora não tenha elaborado conceitos mais estruturados como o “espaço de atração” e “espaço de atividade”.

Todos os corpos são imbuídos de uma força atrativa, a qual está estendida a alguma distância além de suas superfícies; quando um raio de luz passa de um meio rarefeito para um denso [...] pouco antes de sua entrada o raio será atraído em direção ao meio mais denso, e esta atração continuará a agir sobre ele, até algum tempo depois que ele entrou no meio [...]. (ROWNING, 1737, p. 9)

Como vemos, a linha de raciocínio de Rowning é basicamente a mesma dos outros autores analisados acima; do mesmo modo, não resolve problemas simples, por exemplo, o limite de atuação da força e o tempo de duração da atração após a entrada do raio no meio mais denso. Entretanto, ela guarda algumas peculiaridades interessantes.

Ao contrário dos newtonianos analisados acima, Rowning não descreveu uma *nova* força, e sim associou um conceito já existente – a coesão entre as partículas dos corpos – com os fenômenos ópticos. Dentre os seguidores de Newton mais conhecidos e aqui analisados, ele foi o único a estabelecer uma relação desse tipo. Todos os outros procuraram elaborar um novo conceito, uma força óptica independente de outras forças.

Isso ilustra a pluralidade do processo de transformação da óptica newtoniana. Vários conceitos foram construídos, outros ignorados e outros relacionados aos fenômenos ópticos. Rowning apresentou um dos vários argumentos singulares envolvidos na tentativa evidente de unir duas vertentes da filosofia natural newtoniana, a óptica e a mecânica.

5.2.7. Outras explicações

Além dos pesquisadores analisados acima, vários outros filósofos naturais do período tentaram unir a óptica e a mecânica de Newton. Um deles foi Richard Helsham, um conferencista do início do século XVIII, mencionado no capítulo anterior.

A coletânea das conferências de Helsham foi publicada postumamente em 1739, sob o título *A course of lectures in natural philosophy*. Assim como o *Physico-mechanical lectures* de Desaguliers, sua obra contém discussões objetivas e com ampla descrição de experimentos. Do mesmo modo, ao tratar a luz, o ponto inicial foi a materialidade da luz.

A luz, da qual eu pretendo tratar nesse curso, é um fluido muito sutil, consistindo de partículas extremamente pequenas, mas de magnitudes diferentes [...], as quais partem dos corpos luminosos por movimentos vibratórios de suas partes, com uma velocidade surpreendentemente grande [...]. (HELSHAM, 1767, p. 287)

Posteriormente, discutindo a refração, Helsham mencionou a existência de uma força de atração dos corpos sobre a luz.

Essa curva dos raios, na sua passagem de um meio para outro, parece ser devida a uma força atrativa do meio mais denso agindo sobre os raios em ângulos retos à superfície, como parece ao se considerar as conseqüências de tal atração. (HELSHAM, 1767, p. 289)

Como vemos, a explicação de Helsham é essencialmente a mesma de todos os outros newtonianos discutidos acima. Do mesmo modo, ele discutiu brevemente as cores dos corpos naturais e não abordou idéias newtonianas mais complexas, como o conceito de estados da luz.

Benjamin Worster (1685-1726), por sua vez, elaborou na mesma época de ‘sGravesande o conceito de “esfera de atração” (figura 5.9), apresentado em sua obra *The principles of natural philosophy* (1722). Para explicar a reflexão, ele afirmou que haveria um poder repulsivo do corpo além da região de atração (figura 5.10).

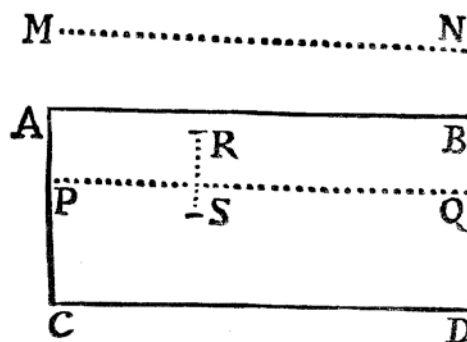


Figura 5.9 – A “esfera de atração” de Worster se estendia entre os planos MN e PQ.

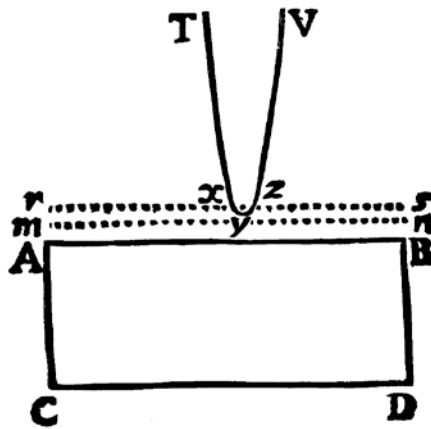


Figura 5.10 – Poder repulsivo além da “esfera de atração”.

Vários outros newtonianos não desenvolveram novas explicações, restringindo-se a uma mera repetição das palavras de Newton no *Óptica* ou nos *Principia*. Além disso, não abordavam com detalhes outros tópicos da óptica newtoniana, como as idéias sobre a opacidade, transparência e cores dos objetos e o conceito de estados da luz. Entre esses filósofos que meramente repetiram muitas descrições de Newton, destaca-se Henry Pemberton (1694-1771).

Assim como muitos newtonianos, Pemberton dedicou boa parte de sua vida ao estudo das obras newtonianas. Entre os resultados desses anos de esforço estão a terceira edição dos *Principia* – organizada por ele sob a aprovação de Newton –, publicada em 1726 e a obra *A view of Sir Isaac Newton's Philosophy*, livro sobre a filosofia newtoniana publicado em 1728, apresentando o mesmo estilo do *Éléments* de Voltaire.

Ao discutir a óptica newtoniana, Pemberton somente reproduziu o texto de Newton no *Óptica*, não construindo nenhuma nova explicação. Entretanto, seus comentários sobre o discurso newtoniano revelam aspectos interessantes do processo de

aperfeiçoamento no qual sua óptica foi incorporada. Um dos mais relevantes abordou a interação entre a luz e os corpos.

[...] nosso autor [Newton], não fez uma descoberta completa do princípio pelo qual esta mútua ação entre a luz e os corpos é causada assim como ele fez em relação ao poder pelo qual os planetas são mantidos em seus cursos: mesmo assim ele [...] apontou para o caminho [...] que deve ser seguido para atingi-lo, [...] quando a humanidade for abençoada com esse avanço de seu conhecimento, ele [o princípio] derivará tão diretamente dos princípios estabelecidos por nosso autor em seu livro [o *Óptica*], que o grande parte do prazer devido essa descoberta pertencerá a ele. (PEMBERTON, 1728, p. 318)

Dessa forma, Pemberton reconheceu que Newton não formulou idéias satisfatórias para explicar a interação da luz com os corpos por meio de forças, todavia, ele forneceu os caminhos. Outros autores do período não destacaram esse fato importante, geralmente considerando a grandiosidade das conquistas newtonianas e deixando de lado aspectos problemáticos e limitações de suas idéias, por exemplo, Harris e Smith.

5.3. As limitações da união: o conteúdo do Livro II do *Óptica*

Ao longo da sessão anterior, apontamos para vários problemas das explicações dos newtonianos utilizando a idéia de forças como agente principal da interação entre a luz e matéria. Notamos que os modelos elaborados por esses pesquisadores recaíram em dificuldades conceituais por vezes simples, por vezes complexas. Apontamos brevemente em várias ocasiões que uma dessas dificuldades estava no desenvolvimento de explicações baseadas na dinâmica newtoniana para os fenômenos ópticos abordados

no Livro II. Nessa seção, indicaremos que essa questão se constituiu como um dos principais entraves da união entre a mecânica e a óptica de Newton.

De uma perspectiva ampla, procuramos compreender como os newtonianos leram e assimilaram as discussões de Newton no Livro II e, conseqüentemente, os aspectos problemáticos embutidos nelas. Além disso, buscamos verificar como os newtonianos incorporaram essas discussões e os fenômenos estudados no Livro II em seus conjuntos de explicações dos fenômenos ópticos fundamentadas em modelos mecânicos.

Poucos estudos históricos se remetem a essa questão. O estudo apresentado nessa seção fornecerá contribuições importantes para a compreensão da óptica no início do século XVIII. Voltando à educação científica, essa análise indicará que muitas teorias científicas, mesmo importantes para seus criadores, podem ser tratadas superficialmente por seus seguidores.

5.3.1. Opacidade, transparência e cores dos corpos

O tratamento da opacidade, transparência e cores dos corpos pelos newtonianos se assemelhou muito com o realizado freqüentemente para outros tópicos da óptica, como os apontados acima, se restringindo à reprodução praticamente total do texto de Newton no *Óptica*. Sendo assim, citaremos apenas os trechos mais relevantes das obras desses pesquisadores, a fim de não tornar a presente análise tediosa e repetitiva.

No *Philosophical principles of religion*, Cheyne resumiu boa parte do conteúdo do Livro II (CHEYNE, 1715, pp. 80-88), não fazendo qualquer comentário ou crítica. Citamos abaixo o trecho em que ele relaciona as cores dos corpos naturais com os anéis coloridos em películas finas, uma parte do discurso de Newton claramente problemática:

As menores partes de quase todos os corpos naturais são transparentes, como pode ser visto observando pequenos corpos com um microscópio, e conseqüentemente, elas devem, de acordo com seus diversos tamanhos, refletir raios de uma cor e transmitir o de outras, do mesmo modo que os filmes finos refletem ou transmitem aqueles raios [...]. (CHEYNE, 1715, p. 83)

Como vemos, Cheyne uniu as proposições 2 e 5 do Livro II, não mencionando qualquer dificuldade em entendê-las.

Do mesmo modo, Harris praticamente reproduziu todo o conteúdo do Livro II no verbete “Cor” do segundo volume do *Lexicon Technicum*. Em um de seus únicos comentários nesse verbete, ele discutiu sobre a sensação de diferentes cores, mesmo assim, baseando-se em outros argumentos controversos de Newton.

A sensação de diferentes cores parece surgir disso, que vários tipos de raios têm vibrações de vários tamanhos, as quais, de acordo com suas magnitudes, excitam sensações de diversas cores; de forma semelhante com que o ar, de acordo com seus vários tamanhos, excita sensações de sons diferentes. E, em particular, é provável, que os raios mais refrangíveis excitam as menores vibrações, e então produzem a sensação de um violeta escuro; e os raios menos refrangíveis excitam as maiores vibrações, e então produzem a sensação de vermelho escuro. E que os vários tipos intermediários de raios excitam vibrações de vários tamanhos intermediários, e, portanto produzem sensações de diversas cores intermediárias. (HARRIS, 1723, verb. “Colour”, s.p.)

Esse argumento também foi utilizado por Newton, mas não no *Óptica*, e sim no artigo “A hipótese da luz” de 1675. Contudo, essa explicação é questionável, uma vez que a analogia feita com o som não é satisfatória. No caso de várias notas musicais tocadas juntas em um acorde, podemos perceber cada uma delas. O mesmo não acontece com as cores, pois não percebemos cada raio de luz individualmente. Não existe um “som branco” (SILVA, 1996, p. 45). Isso pode dar a entender que a luz é uma vibração, e não um corpúsculo. Porém, isso não pareceu ser um problema para Harris.

Outro cientista que seguiu o estilo “reprodução sem crítica” foi Desaguliers, apesar de ter discutido pouco a opacidade, transparência e cores dos corpos naturais e não ter abordado os anéis coloridos em filmes finos. No *Physico-mechanical lectures*, ele não chegou a transcrever as descrições de Newton, mas discutiu o assunto de forma muito sucinta.

Ao abordar as características dos corpos, Desaguliers se restringiu a dizer que:

Corpos lícidos emitem luz, corpos transparentes (também chamados de meios) a transmitem, e corpos opacos a refletem.

Desde que um corpo opaco reflete a luz, de modo a propagá-lo de todos seus pontos para todos os lados, assim como um corpo lícido (embora não tão abundantemente), ele pode ser chamado de radiante, assim como um objeto lícido, e projeta sua imagem no olho da mesma maneira. (DESAGULIERS, 1717, p. 42)

No *Óptica*, Newton discutiu mais detalhadamente o assunto, investigando as propriedades das mínimas partes dos corpos e sua interação com a luz. Desaguliers, no entanto, preferiu uma discussão mais simples, principalmente pelo caráter de sua obra, uma coletânea de suas conferências.

Nota-se como parece óbvia para Desaguliers a explicação da opacidade, transparência e lucidez dos corpos. Contudo, esses fenômenos não são explicados pela idéia de duas forças agindo sobre o raio de luz, desenvolvida por ele nos trechos seguintes. De fato, como mostramos acima, ele só explicou a ação dessas duas forças no caso de uma refração ideal. Da mesma forma, ao abordar as cores dos corpos naturais, ele afirmou que um objeto de qualquer cor

[...] reflete todos os tipos de raios, mas mais abundantemente aqueles daquela cor que apresenta [...]. (DESAGULIERS, 1717, p. 72)

Nos trechos seguintes, ele completou suas idéias.

Um corpo branco reflete todos os tipos de raios completamente, e absorve todos os tipos de raios de forma reduzida; mas um corpo preto faz justamente o contrário [...]. (DESAGULIERS, 1717, p. 72)

Novamente, a reflexão – ou absorção da luz – pelos corpos não é explicada através de seu conceito de forças. Os raios seriam somente refletidos ou absorvidos. Provavelmente, para Desaguliers, esses fenômenos não precisariam de explicações mais detalhadas. Esse fato reforça a suposição de que os fenômenos do Livro II não foram incorporados nos modelos mecânicos desenvolvidos pelos newtonianos, mas tratados superficialmente.

Pemberton, por sua vez, ao abordar as cores dos corpos, exaltou as idéias de Newton.

Mas isso [as cores dos corpos] nosso autor mostra ser nada mais que a diferente magnitude das partículas que compõem os corpos [...], e ainda, todo esse capítulo não conterà qualquer afirmação categórica, mas o que será praticamente incrível [é que] os argumentos para isso são tão fortes e convincentes, que forçarão nosso assentimento. (PEMBERTON, 1728, p. 338)

Em outras palavras, Pemberton afirmou que as teorias desenvolvidas por Newton seriam tão satisfatórias a ponto de não ser necessário qualquer esforço para seu entendimento. Ironicamente, nos trechos seguintes, ele repetiu o discurso newtoniano sobre esse fenômeno, incluindo seus diversos e evidentes pontos problemáticos e de complexa compreensão.

Adotando outro estilo de interpretação, alguns seguidores de Newton procuraram não só reproduzir os trechos do Livro II do *Óptica*, mas aperfeiçoar alguns aspectos, embora não apontando suas dificuldades. ‘sGravesande foi um deles.

No *Mathematical elements of natural philosophy*, ‘sGravesande inicialmente afirmou, assim como Newton, que corpos quando feitos bem finos, se tornavam

transparentes. Logo depois ele discutiu a opacidade desses corpos, utilizando idéias semelhantes às aquelas presentes no Livro II do *Óptica*, mas introduzindo alguns argumentos diferentes. Segundo ele,

A opacidade não acontece (como geralmente se imagina) nos corpos pelo fato do caminho pelo qual a luz deveria passar é impedido pelas partículas de matéria; pois a luz passa por todas as menores partes dos corpos, nem é devida a uma retenção de qualquer tipo. Para a opacidade é necessário que a luz seja refletida ou defletida de sua linha reta, e para isso é obrigatória a separação de dois meios. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 105)

Em seguida, ele completou seu raciocínio, utilizando a idéia de que os corpos teriam partes e poros, assim como no Livro II do *Óptica*.

Seja um corpo, consistindo de partes muito pequenas, perfeitamente transparente [...] e separadas uma das outras por poros; e que esses interstícios estão vazios de éter, ou preenchidos com um meio cuja densidade é diferente daquela das partículas; se a luz entrar em tal corpo, ela a todo momento atingirá uma superfície que divide meios de densidades diferentes; portanto ela se submeterá a inumeráveis reflexões e refrações nesse corpo, portanto ela não será capaz de passar por ele. Portanto, nós vemos que a opacidade depende dos poros, pois se você encher os poros com um meio de mesma densidade das partículas dos próprios corpos, a luz não será nem refletida nem refratada no corpo, mas passará diretamente por ele, e o corpo será transparente. (‘sGRAVESANDE, 1726, p. 105)

As palavras de ‘sGravesande são muito parecidas com as de Newton no Livro II do *Óptica*. Notavelmente, ele procurou discutir um pouco mais o assunto. Contudo, ele manteve as mesmas dificuldades conceituais das explicações newtonianas.

Primeiramente ele afirmou que os corpos quando feito bem finos se tornavam transparentes, ou seja, a transparência e a opacidade dependem do tamanho desses corpos. Contudo, nos trechos seguintes ele relacionou esses fenômenos com a diferença de densidade entre poros e partes. Assim como no *Óptica*, é difícil entender qual é, e se

existe, a relação entre o tamanho das partículas e poros e a diferença de densidade entre eles. Além disso, não ficou claro se esses corpos opacos são coloridos ou pretos.

Há ainda um problema mais grave. Da mesma forma que os filósofos naturais que somente copiaram trechos do *Óptica* não conseguiram adequar suas idéias de forças entre a luz e a matéria a essas explicações, o conceito de “espaço de atração” de ‘sGravesande também não é incorporado facilmente em seu tratamento desses fenômenos.

Na subseção 5.2.4, indicamos que o “espaço de atração” de ‘sGravesande se localizava a determinadas distâncias da superfície que dividia dois meios de densidades diferentes. Isso faria com que surgisse uma força em direção ao meio mais denso, o que explicaria fenômenos como a refração.

Contudo, é difícil imaginar a existência de diversos “espaços de atração” entre as partes e os poros, causando as diferentes reflexões sofridas por raios de cores diferentes. As interações entre os vários “espaços” seriam, a nosso ver, extremamente complexas e quase impossíveis de serem descritas. Portanto, concluímos que através da idéia de “espaço de atração”, seria muito complicado abordar as inúmeras reflexões, as quais ‘sGravesande fez referência. Ele não considerou qualquer problema em suas explicações.

Outros filósofos naturais também procuraram aperfeiçoar as idéias de Newton, atribuindo novas propriedades à matéria e elaborando outras explicações para as cores dos corpos. Entretanto, todos eles enfrentaram praticamente os mesmos problemas citados acima.

Portanto, evidentemente vários newtonianos não buscaram ou não conseguiram adequar as explicações para a opacidade, transparência e cores dos corpos naturais nos modelos mecânicos que propunham para os fenômenos ópticos.

A principal dificuldade nas explicações desses filósofos naturais foi o alto número de conceitos que interagem entre si (densidade, tamanho, partes, poros, forças etc.) de forma complexa. Isso nos dá uma idéia do imenso desafio enfrentado por esses autores em lidar com fenômenos ópticos que Newton explicou por meio de idéias não ajustáveis a sua dinâmica de partículas. Apesar de oferecerem explicações até certo ponto satisfatórias para a refração e a reflexão e outros fenômenos correlatos; a opacidade, transparência e cores dos corpos naturais continuaram sem uma abordagem coerente e satisfatória conceitualmente.

5.3.2. O conceito de estados da luz

O conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão foi uma importante realização de Newton em sua óptica. Por meio desse conceito, ele explicou principalmente o fenômeno dos anéis de cores em filmes finos e a refração e reflexão parciais. Segundo ele, os estados seriam propriedades originais da luz estabelecidas somente pelos experimentos, e não pelo uso de hipóteses. Entretanto, vimos no capítulo 3 que esse conceito estava repleto de problemas de coerência e fundamentação.

Devido ao importante papel atribuído aos estados por Newton, seria esperado que os filósofos naturais que apoiavam Newton do início do século XVIII comentassem sobre os estados, ao menos copiando trechos do *Óptica*, como feito na discussão de vários outros tópicos. Contudo, assim como nos livros de Voltaire e Algarotti, os estados foram relegados ao esquecimento. Aqueles autores que os mencionaram, dedicaram pouco mais de algumas linhas a ela. Harris, por exemplo, no verbete “Luz” do segundo volume do *Lexicon*, citou brevemente os estados.

[...] Os retornos dessa disposição de qualquer raio para ser refletido, ele [Newton] chamou de estados de fácil reflexão; e aquela disposição para ser transmitido, ele chamou de estados de fácil transmissão [...]. (HARRIS, 1723, verb. “Light”, s.p.)

Do mesmo modo, Pemberton apresentou o conceito sem qualquer comentário.

Assim é cada raio separadamente disposto a reflexões e refrações alternadas em intervalos iguais; os retornos sucessivos de cada disposição, nosso autor [Newton] chama de estados de fácil reflexão e de fácil transmissão. (PEMBERTON, 1728, p. 373)

Esse tipo de abordagem meramente descritiva está presente nas poucas obras que mencionaram o conceito de estados da luz. Sua importância como uma propriedade original e imutável da luz e sua utilização para explicar vários fenômenos ópticos foram completamente subestimadas.

É interessante como uma idéia fundamental para as explicações de Newton foi desprezada pelos adeptos de suas teorias. Provavelmente, esses filósofos naturais ou não entenderam o conceito de estados da luz ou menosprezaram seus problemas, mas citaram-no por ter sido elaborada por Newton. Mais interessante, porém, é o fato desses filósofos naturais sequer questionaram em seus trabalhos a dificuldade de adequar o conceito de estados da luz com a união entre a óptica e a mecânica de Newton por eles promovida. Provavelmente, em suas reflexões pessoais, chegaram a se indagar sobre o valor desse conceito e, talvez, sobre a incapacidade de Newton ao concebê-lo como uma verdadeira propriedade da luz.

5.4. As poucas críticas

Embora seja natural que os filósofos naturais defensores de Newton não criticassem suas teorias, seria esperado o surgimento de críticas por parte daqueles que

não apoiavam as idéias newtonianas, por exemplo, adeptos de outras concepções para a luz. Entretanto, estudos históricos recentes indicam de forma geral que a teoria corpuscular esculpida pelos seguidores de Newton não teve grandes rivais na Grã-Bretanha, a ponto de existir uma disputa (CANTOR, 1983; HAKFOORT, 1995). Nós, em nossa pesquisa histórica, não encontramos críticas fortes ao conteúdo do Livro II do *Óptica*.

O mais conhecido crítico das teorias newtonianas no início do século XVIII é Robert Green (1678-1730). Em seus dois livros mais conhecido – *The principles of natural philosophy* (1712) e *The principles of the philosophy of expansive and contractive forces* (1727) – ele discutiu, entre outros assuntos, a óptica de Newton, que considerava incoerente e repleta de falhas. No prefácio do primeiro, ele deixou explícita a discordância com a concepção corpuscular para a luz.

[...] nós mostraremos primeiro a impossibilidade e a absurdidade de grande parte daquela filosofia, a qual tem sido chamada de Corpuscular [...] (GREEN, 1727, p. a4)

Segundo Cantor (1983, pp. 218-19, n. 15), Green acreditava que a hipótese corpuscular tinha se tornado o ponto central da ciência moderna, mas rejeitou todas as teorias para a luz que envolviam partículas de matérias. Para ele, a matéria era uma substância heterogênea ativa e todo o espaço era preenchido com um éter indiferenciado e ativo, formando todo o Universo. A luz seria uma ação nesse meio etéreo.

Em nossa análise do livro, notamos que apesar de indicar uma aparente crítica incisiva à teoria corpuscular – mais especificamente, às idéias de Newton – Green apresentou argumentos obscuros, desconexos e, muitas vezes, de difícil compreensão em seus dois livros. Provavelmente, devido ao estilo confuso de argumentação, as idéias

de Green passaram despercebidas entre os filósofos naturais da época, assim como outras possíveis críticas desconhecidas até hoje.

Dessa forma, a óptica newtoniana e seu processo de aperfeiçoamento promovido pelos seguidores de Newton encontraram caminho livre para sua ampla aceitação no início do século XVIII, especialmente na Grã-Bretanha. Somente após a metade desse século, as teorias ópticas de Newton e dos newtonianos encontrariam uma resistência mais estruturada. Até que isso ocorresse, porém, a concepção corpuscular ganharia novos adeptos e se estabeleceria como uma autêntica forma de compreender os fenômenos ópticos no século das luzes.

5.5. Um panorama da união

Durante a primeira metade do século XVIII, a óptica newtoniana foi tanto popularizada quanto extensamente selecionada e modificada pelos seguidores de Newton. A intenção evidente desses newtonianos era construir uma relação sólida entre a óptica e a mecânica newtoniana. Por isso, pouco tempo depois da publicação do *Óptica*, a óptica dita “newtoniana” pouco se assemelhava com a original, representada pelos trinta anos de estudos por Newton.

Como uma consequência desses processos, as discussões de Newton no Livro II foram ignoradas ou simplesmente mencionadas sem qualquer comentário crítico. Por esse fato, fenômenos tratados no Livro II – como a opacidade, transparência e cores dos objetos – e o conceito de estados da luz constituíram-se um obstáculo intransponível para os diversos modelos e explicações baseadas na união entre a óptica e a mecânica de Newton elaborados pelos autores que o defendiam.

Esses fatos ilustram que mesmo teorias amplamente respeitadas – como as de Newton – podem sofrer modificações ou serem ignoradas ao longo dos anos. Erros podem ser corrigidos, outros repetidos; princípios básicos podem ser aperfeiçoados ou rejeitados; explicações complementares podem ser construídas, a fim de complementar pontos inconsistentes das teorias; teorias podem ser esquecidas ou tratadas superficialmente etc. Este é um exemplo de como a fama e o respeito adquirido previamente por cientistas influencia a aceitação de suas idéias, mesmo as mais estranhas. Isso pode ser chamado de “argumento de autoridade”: na época, mesmo sem entender direito e apesar dos problemas, os filósofos naturais continuaram a reproduzir as idéias problemáticas de Newton, justamente por ele ser quem ele era.

Também é fundamental ressaltar o contexto social e cultural da época, os quais, no caso da óptica newtoniana, foram fundamentais para sua ampla aceitação na Grã-Bretanha do século XVIII. Provavelmente, se tais contextos fossem diferentes, a óptica de Newton teria seguido caminhos contrários.

Além disso, há um aspecto da Natureza da Ciência muito claro nessa análise e que não foi citado explicitamente pelos autores referenciados na seção 1.1: a dificuldade em explicar um conjunto de fenômenos por meio de uma única idéia. Nas seções anteriores, notamos que vários filósofos naturais não conseguiram explicar conjuntamente os fenômenos da refração e reflexão, por exemplo, por meio de seus modelos mecânicos. Para um fenômeno apenas – como ‘sGravesande ao explicar a refração por meio do “espaço de atração” – suas explicações são satisfatória, porém, ao estendê-las para outros fenômenos – como as cores dos objetos – elas se mostram pouco adequadas.

Questões como essa, se incorporadas ao ensino de ciências, podem deixar claro que o conhecimento científico é dinâmico e complexo, e que o desenvolvimento e a

aceitação de uma teoria científica envolve diversos fatores, que podem incluir a modificação de seu conteúdo.

6

Breves considerações sobre o período seguinte

Nas primeiras décadas do século XVIII, enquanto os filósofos naturais defensores de Newton procuravam popularizá-lo e, ao mesmo tempo, unir sua óptica e sua mecânica, poucas pesquisas na área foram realizadas (CANTOR, 1983, p. 42, 45). Conseqüentemente, raras críticas foram tecidas à óptica newtoniana e à pretendida convergência com a dinâmica de partículas do *Principia*. Entretanto, no período posterior a situação não foi tão confortável assim.

A partir da década de 1740, a pesquisa em óptica recomeçou e muitos livros e artigos de importantes defensores de outras teorias para a luz surgiram. Entre eles, se destacam, *O Nova theoria lucis et colorum* de Leonhard Euler (1707-1783), o *New experiments in electricity* de Abraham Bennet (1749-1799), *A dissertation upon the philosophy of light, heat and fire* de James Hutton (1726-1797) e *An attempt to demonstrate, that all phenomena in nature may be explained by two simple active principles, attraction and repulsion* de Gowin Knight (1713-1772).

As idéias de Euler, por exemplo, se concentravam em uma concepção ondulatória para a luz. Ele elaborou um complexo esquema de explicações para os fenômenos ópticos mais conhecidos na época baseado na idéia de que a luz seria constituída por pulsos, associando a eles, pela primeira vez, conceitos como frequência e periodicidade⁴³. Ao contrário do que geralmente se acredita, suas idéias se diferiram muito daquelas construídas por Huygens meio século antes (HAKFOORT, 1995, p. 3, 73-76).

Uma grande parte da *Nova theoria* foi dedicada às cores dos corpos naturais. Segundo Euler, as idéias de Newton eram completamente equivocadas e sua analogia com as cores dos anéis em películas finas inadequada. Ele considerava um argumento

⁴³ Para mais detalhes sobre as teorias de Euler, ver Hakfoort (1995).

poderoso contra essa analogia o fato de que os anéis mudam dependendo da posição em que são observados, o que não acontece com os corpos (HAKFOORT, 1995, p. 110).

Em outros trechos do livro, Euler discutiu vários prós e contras das teorias corpuscular e vibracional. Um dos argumentos contra a materialidade da luz baseou-se na conclusão de que, se a luz fosse constituída de corpúsculos, o Sol perderia matéria. Outros filósofos naturais da segunda metade do século XVIII apontaram para esse problema, por exemplo, Benjamin Franklin (1706-1790) (CANTOR, 1983, p. 52)

Outra objeção de Euler sobre a concepção corpuscular foi o fato de os raios de luz nunca se interferirem, o que seria impossível se eles fossem corpúsculos. Knight resumiu com clareza essa questão:

[...] como um partícula de luz pode continuar [com] seu movimento inalterado, através de um Espaço tão vasto e com tão grande velocidade; enquanto que inumeráveis outras partículas estão por todo lado se movendo em direções diferentes e freqüentemente contrárias. Não é impossível que ela possa se mover tão rapidamente e não se chocar com freqüência com outras partículas, quando cada pequena parte do Espaço deve conter milhares delas? Quanta confusão deve gerar na direção de seu movimento por essas várias batidas? (KNIGHT, 1754, p. 53)

Alguns defensores da concepção corpuscular procuraram rebater essas objeções, por exemplo, Thomas Melvill (1726-1753). Geralmente, eles afirmavam que não haveria choque porque as partículas seriam muito pequenas, como Cheyne havia afirmado no início do século. A partir disso, muitos pesquisadores procuraram calcular o momento dos raios de luz. Em 1792, Bennet publicou um artigo nas *Philosophical transactions* concluindo que não havia momento algum (CANTOR, 1983, pp. 52-59).

Vários outros problemas cercaram a concepção corpuscular a partir da segunda metade do século XVIII, por exemplo, a influência da gravitação no movimento dos raios de luz, as explicações sobre inflexão e a dificuldade de estabelecer uma explicação

satisfatória para vários fenômenos ópticos baseada na idéia de forças (CANTOR, 1983, p. 62-83). Além disso, havia os fenômenos que não poderiam ser explicados pelos diversos modelos mecânicos elaborados no início do século, por exemplo, os anéis coloridos em películas finas. Poucos autores citavam o conceito de estados de fácil transmissão e fácil reflexão elaborado por Newton para explicar esse fenômeno, havendo praticamente um consentimento geral de que esse conceito era muito insatisfatório (CANTOR, 1983, pp. 84-86).

Uma das críticas mais incisivas aos estados partiu curiosamente de um adepto à concepção corpuscular para a luz e defensor de Newton: Joseph Priestley (1733-1804). Ele destacou-se por ser um indivíduo multifacetado, publicando trabalhos em diversas áreas do conhecimento, desde religião até eletricidade. Em 1772, ele publicou seu *The history and present state of discoveries relating to vision, light and colours*, contendo um amplo estudo sobre as teorias para a luz e as cores desde Kepler e Descartes, passando por Newton e chegando à sua época.

Sobre os estados, Priestley desde o início de seus comentários deixou clara sua insatisfação a respeito desse conceito.

Nesses filmes finos, e também em todos os outros casos de reflexão ou transmissão da luz, Sir Isaac Newton desenvolve uma hipótese; mas, sendo um homem esperto e um filósofo cauteloso, ele não discute muito sobre isso, embora ele parece não suspeitar de sua verdade. Ele supõe que cada raio de luz é colocado em sua primeira emissão do corpo luminoso em um estado ou constituição transiente, a qual, no seu progresso, retorna em intervalos iguais, dispondo-o em cada retorno a ser facilmente transmitido em uma superfície refratora que encontrar, ao passo que, no intervalo entre esses retornos, ele estará disposto a ser refletido. (PRIESTLEY, 2007, pp. 305-306)

Nota-se que Priestley classificou o conceito de estados da luz como uma *hipótese*. No *Óptica*, Newton categoricamente afirmou que os estados não eram hipóteses, mas

propriedades da luz comprovadas pelas observações. Em seguida, Priestley continuou seus comentários sobre esse conceito.

Ele posteriormente supõe que esses *estados de fácil transmissão e fácil reflexão* podem ser ocasionados pelas vibrações de um fluido sutil pelo qual o raio passa; estando qualquer raio disposto a ser transmitido quando a vibração coincide com elas, e a ser refletido quando está contrário a elas. Ele também pensou que essas vibrações podem ser excitadas pela ação e reação mútua da luz, dos corpos, e do meio, no instante da reflexão e da refração. (PRIESTLEY, 2007, p. 306)

Nos trechos seguintes, Priestley criticou essas hipóteses de Newton para o conceito de estados. Como vimos no capítulo 3, Newton relacionou as cores dos anéis com a espessura do filme e, conseqüentemente, com os estados em que os raios estavam. Para Priestley, isso gerava problemas.

Se cada raio de luz é afetado por esses estados de fácil reflexão e transmissão, durante seu progresso do corpo luminoso, e se eles começam no corpo luminoso, os intervalos entre eles [os estados] devem depender da distância que os raios estão deles, e portanto, de nenhuma circunstância referente ao corpo que ele atinge; assim sendo, sem qualquer relação à espessura ou finura dos filmes mencionados acima, a luz de qualquer cor deve ser refletida ou refratada indiferentemente, de acordo com a distância da superfície do corpo luminoso. (PRIESTLEY, 2007, p. 307)

Sendo assim, se o fato dos raios de luz estarem em um estado de fácil reflexão ou fácil transmissão depende de suas distâncias em relação ao corpo luminoso, não haveria uma relação entre a cor dos anéis e a espessura do filme, visto que os raios poderiam ser refletidos ou transmitidos em qualquer lugar. Nos trechos seguintes, Priestley continuou criticando o conceito de estados, chegando à conclusão que a existência deles era improvável, pois teria que ser suposto que nenhuma parte do raio seria refletida antes de atingir a segunda superfície da película fina.

No restante do *History*, Priestley comentou sobre outras teorias para a luz, por exemplo, a desenvolvida por Euler. Entretanto, seu entusiasmo sempre foi destino às idéias newtonianas, embora ele tenha reconhecido alguns de seus pontos fracos.

Portanto, na segunda metade do século XVIII, cresceu um sentimento geral de que a óptica newtoniana e os modelos mecânicos que foram desenvolvidos a partir dela eram insuficientes para tratar os vários fenômenos ópticos conhecidos na época. Embora ainda houvesse um grande apoio à concepção corpuscular para a luz – refletido, por exemplo, na obra de Priestley – seus alicerces conceituais foram abalados, o que provavelmente abriu caminho para que no século seguinte ela fosse amplamente rejeitada (FRANKEL, 1976).

Sendo assim, ao contrário da sistematização da teoria corpuscular na primeira metade do século XVIII, que ignorou os aspectos conceitualmente problemáticos e obscuros do *Óptica*, algo muito diferente ocorreu durante o resto do século. Apesar da idéia de a luz consistir em partículas ser ainda muito influente, principalmente na Grã-Bretanha, a falta de uma lei satisfatória de força de curto alcance e as dificuldades para explicar os vários fenômenos ópticos de forma unificada fez com que a concepção corpuscular nesse período, passasse a ser fortemente questionada.

7

**Incorporando a Natureza da Ciência:
o que podemos aprender
com esse episódio?**

Nos quatro últimos capítulos, investigamos em detalhes o desenvolvimento da óptica de Newton – destacando o conteúdo do Livro II do *Óptica* – e sua repercussão nas primeiras décadas do século XVIII. Ao longo do trabalho, apontamos para diversas características inerentes do processo de construção e estabelecimento do conhecimento científico.

Neste capítulo, sistematizaremos essas características e avançaremos a discussão iniciada no capítulo 2 sobre como elas podem ser utilizadas para discutir alguns aspectos consensuais da Natureza da Ciência evidenciados ao longo deste estudo histórico. A partir disso, faremos algumas considerações sobre como essas discussões podem ser direcionadas à educação científica, mais especificamente à formação inicial e continuada de professores.

7.1. O método científico

No capítulo 3, ressaltamos a forte defesa de Newton por uma filosofia natural puramente indutivista, onde não haveria lugar para o uso de hipóteses. Sua óptica seria o grande modelo dessa postura, um exemplo de como os filósofos naturais deveriam proceder em suas pesquisas. Como indicamos nos capítulos 4 e 5, essa imagem da óptica newtoniana ganhou grande destaque no início do século XVIII, influenciando significativamente os estudos sobre luz e cores nesse período.

Pesquisas recentes indicam que nas comunidades científica e educacional não é raro encontrar defensores do método empírico (HODSON, 1985; LEDERMAN, 1992, ADB-EL-KHALICK & LEDERMAN, 2000). Como Alan F. Chalmers aponta, o indutivismo tem significado “o que nos tempos modernos é uma concepção popular de conhecimento científico” (CHALMERS, 2007, p. 23).

A Ciência teria, a partir dessa concepção, um caráter absoluto e verdadeiro, ou seja, o conhecimento adquirido por ela a partir da observação do mundo seria a fiel e irrefutável descrição dos fenômenos naturais. O trabalho do cientista se resumiria na análise de experimentos e de sua eventual repetição.

Em um livro de divulgação científica publicado recentemente, essa característica do fazer científico é ressaltada.

Bem, ciência, seja ela qual for, se baseia no método empírico: informação sobre o mundo natural deve ser obtida por meio de observações de fenômenos e, quando possível, de sua repetição em laboratório. [...] Essa é a beleza da ciência: não é necessário crer, e sim ver. (GLEISER, 2007, pp. 25-27)

Entretanto, afirmações como essa reforçam a crença em uma visão deturpada da Ciência, a qual seria sustentada por um método científico universal, um conjunto de etapas a serem seguidas (GIL-PÉREZ et. al., 2001). O estudo cuidadoso de alguns episódios da história das ciências contribui fortemente para a superação desta visão ingênua sobre o “método científico”⁴⁴. A análise da óptica de Newton destaca várias inconsistências dessa visão, principalmente se voltarmos nossa atenção ao Livro II do *Óptica*.

Apesar de figurar como uma autêntica representante do sucesso do método indutivo, a óptica newtoniana foi construída por meio de muitos métodos não empíricos. No Livro I do *Óptica*, por exemplo, Newton utilizou um discurso complexo para demonstrar a heterogeneidade da luz branca, envolvendo tanto argumentos experimentais quanto epistemológicos, além de idealizações (SILVA, 1996). No Livro III, esse aspecto não-indutivista da óptica newtoniana também fica claro, uma vez que ele discutiu diversos assuntos a partir de suposições na forma de questões.

⁴⁴ Sobre as interpretações contemporâneas acerca da existência ou não do “método científico”, ver Videira (2006).

No Livro II, por sua vez, essas posturas metodológicas multifacetadas ficam ainda mais claras. A fim de explicar a opacidade, transparência e cores dos objetos e estabelecer uma relação entre essa última característica e os anéis coloridos em filmes finos, Newton utilizou a “transdução”. A partir dela, ele partiu de propriedades macroscópicas para inferir sobre propriedades microscópicas dos corpos, discutindo, por exemplo, a existência de poros. Como vimos, isso gerou diversos problemas conceituais. Além disso, ao argumentar sobre a natureza e a origem dos estados de fácil transmissão e fácil reflexão, Newton apresentou um discurso com forte caráter hipotético e repleto de inconsistências.

Entretanto, se os aspectos problemáticos em seus argumentos eram notáveis, é natural perguntarmos por que Newton continuou a considerá-los e defendê-los. A resposta mais palpável é que ele acreditava no poder de suas explicações para tratar os fenômenos ópticos discutidos no Livro II. Sendo assim, ele acreditava que no nível microscópico dos corpos, haveria partes e poros, cujos tamanhos determinam suas características visuais.

Podemos dizer, portanto, que as concepções e crenças individuais dos cientistas desempenham papéis importantes nos métodos que eles seguirão. Além disso, as concepções e crenças individuais dos cientistas são determinantes na elaboração de suas idéias. As conclusões de uma observação experimental podem não ser as mesmas dependendo das concepções anteriores daquele que a realiza, como bem aponta Chalmers (2007):

O que um observador vê, isto é, a experiência visual que um observador tem ao ver um objeto, depende em parte de sua experiência passada, de seu conhecimento e de suas expectativas. (CHALMERS, 2007, p. 49)

A análise do conteúdo do Livro II do *Óptica* e dessa obra de uma forma geral pode derrubar a idéia de um método científico universal. Newton não seguiu o método indutivo que defendia com freqüência, o que indica que o fazer científico envolve diversas particularidades e posturas metodológicas que não podem ser resumidas em uma “receita” a ser copiada e adotada indefinidamente. A experimentação, por exemplo, não é o único caminho. Como Ziman (1979, p. 63) aponta, “a atividade científica é guiada por idéias, por teorias, pelo desejo de se obter informação *significativa*”.

Levado à formação inicial e continuada de professores, essa análise oferece subsídios suficientes para discutir o método científico. Acreditamos que é fundamental que os alunos de licenciatura nas áreas científicas – e também para os bacharelados – o debate em torno do método científico é fundamental para um bom entendimento da construção da Ciência e do valor que esses estudantes atribuirão a ela e que certamente levarão às suas práticas em sala de aula. Conhecer, discutir, concordar e discordar dos vários elementos envolvidos na problemática das questões metodológicas da atividade científica é importante para que sejam formados professores com visão crítica sobre o Universo e sobre os modelos que a Ciência cria para explicar seu funcionamento. Temas como esse podem ser incorporados de forma explícita, por exemplo, em disciplinas específicas sobre metodologia de pesquisa, como parte de cursos de História e Filosofia da Ciência.

Se a intenção for uma discussão mais aprofundada, com uma análise detalhada do episódio histórico estudado nessa dissertação, as aulas práticas, principalmente naquelas que tratam da óptica, podem oferecer bons redutos para que uma reflexão sobre o método científico seja feita. Por exemplo, os alunos podem ser apresentados ao fenômeno dos “anéis de Newton” e instigados a investigar como explicariam seu aparecimento, se estivessem no lugar de Newton. Quais métodos eles utilizariam, que

verificações fariam, o que esperariam explicar são algumas das questões que podem nortear um estudo pautado no episódio histórico. A partir disso, poderiam ser apresentados os argumentos de Newton sobre o fenômeno, sua intenção em aliá-los com as cores dos corpos naturais e os problemas enfrentados. Tudo isso poderia fomentar uma boa análise da questão do método científico a partir da História da Ciência.

7.2. A forma de apresentação das idéias científicas

Segundo McComas et. al. (1998) uma das visões de consenso sobre a Natureza da Ciência é a de que “o novo conhecimento deve ser informado clara e abertamente” (ver capítulo 1, p. 13). Nesse aspecto há um detalhe que não é usualmente considerado, mas que faz parte do processo de construção do conhecimento científico: a forma como esse conhecimento é apresentado, que pode levar à ocultação de pontos problemáticos ou que podem gerar controvérsias.

No caso da óptica de Newton, estudos recentes apontam para o fato de que ele de certa forma “maquiou” suas palavras em trechos do Livro I e nas *Questões* do Livro III, a fim de não entrar em conflito com outros pensadores coetâneos ou mesmo não entrar em mais detalhes que provavelmente comprometeriam sua argumentação (SILVA & MARTINS, 2003; PIETROCOLA, 2005). A análise do Livro II ressaltou essa estratégia. Ao longo de sua argumentação, Newton apresentou diversas explicações para fenômenos como a refração e a reflexão, utilizou metodologias que ele não defendia abertamente e se contradisse ao discutir sobre a natureza e origem dos estados da luz. Entretanto, tais problemas não ficam evidentes numa leitura superficial de seu texto, aparentemente escrito de forma objetiva e segura.

Respeitadas as diferenças entre os contextos sócio-culturais de épocas distintas, esse aspecto do discurso newtoniano pode ser encontrado praticamente ao longo de toda a história da ciência. Com frequência, os pesquisadores, ao publicarem seus trabalhos, se utilizam de artimanhas de linguagem para não deixarem transparecer, por exemplo, suas posturas ideológicas, valores pessoais ou aspectos problemáticos de suas idéias.

Levado ao âmbito da formação de professores, essa questão pode proporcionar um debate sobre a forma como os cientistas relatam suas idéias aos seus pares. A discussão sobre o ato de encobrir problemas e questões controversas pode ser uma boa oportunidade para os estudantes refletirem sobre a prática científica e sobre como a forma de apresentação do conhecimento por parte dos cientistas pode desempenhar um papel importante para sua aceitação ou rejeição pela comunidade.

7.3. A influência do contexto

Ao longo deste trabalho, procuramos ressaltar a influência de determinados contextos – tais como sociais, culturais e educacionais – nos processos de popularização e transformação das teorias newtonianas. Entretanto, aspectos externos como esses são com frequência desprezados nas discussões históricas presentes em materiais educacionais de ciências (PAGLIARINI, 2007). Geralmente o cientista é retratado como um indivíduo neutro e não influenciado pelo contexto de sua época.

Nos capítulos 3, 4, 5 e 6, levantamos vários pontos que ilustram a incoerência dessa crença na neutralidade do cientista. No caso particular de Newton, esses esclarecimentos soam ainda mais relevantes, visto que sua vida e obra geralmente são retratadas à parte do contexto no qual estava inserido.

Focando nos estudos em óptica, Newton foi muito influenciado pelos autores de sua época. Os trabalhos de filósofos naturais como Descartes, Boyle, Hooke, Huygens, entre outros e as idéias atomistas de Gassendi foram importantes na construção da concepção de Newton sobre a natureza e o comportamento da luz. Além disso, Newton viveu em uma época de intensas buscas pelo conhecimento sobre a luz – e, de uma forma geral, sobre o mundo natural pelo uso de novas abordagens metodológicas (WESTFALL, 1980, pp. 1-39). O pano de fundo em que as teorias newtonianas sobre a luz e as cores foram construídas formou o caminho para o reconhecimento de Newton, dos assuntos selecionados, da metodologia de pesquisa por ele empregada e da validade de suas proposições.

Quando o *Óptica* foi publicado, novamente, fatores externos contribuíram para a aceitação de algumas idéias e o esquecimento de outras, especialmente aquelas presentes no Livro II. Como apontamos no capítulo 4, o mundo ocidental passava por um período de mudanças em relação aos valores atribuídos à Filosofia Natural e ao conhecimento advindo dela. Além disso, Newton já tinha um enorme prestígio na camada intelectual da sociedade britânica, tendo ocupado cargos no Parlamento e na Casa da Moeda e sendo recém eleito presidente da *Royal Society* (WESTFALL, 1980).

A conjunção desses fatores impulsionou a caracterização de Newton como um modelo de perfeição, cujas teorias seriam a melhor e a mais verdadeira descrição da natureza. Sua imagem em quadros, moedas e estátuas se espalhou pela Grã-Bretanha e alguns países da Europa, fazendo com que ele, aos poucos, se tornasse um “herói nacional” (FARA, 2002).

Embarcando nesse processo, partes de sua óptica que valorizavam o caráter experimental da Filosofia Natural e aquelas que forneciam as bases para a construção de uma concepção corpuscular para a luz pautada na mecânica do *Principia* foram

extremamente valorizadas. Elas se tornaram ponto fundamental de um dos motores principais na popularização da óptica newtoniana e da imagem célebre de Newton: as conferências de filósofos naturais para públicos leigos. Apresentando a Filosofia Natural como um conjunto de verdades – em que a óptica newtoniana era uma delas –, as conferências se espalharam pelo solo britânico e por alguns países europeus, difundindo um conhecimento simplificado, mas coerente e objetivo.

Além disso, a óptica de Newton – assim como toda sua Filosofia Natural – ganhou com os livros de Voltaire e Algarotti importantes canais de propagação na França e na Itália, países onde sua influência não era tão forte como na Grã-Bretanha. Vangloriando e idealizando as realizações newtonianas, eles contribuíram enormemente para o estabelecimento da imagem de Newton como um ser quase divino.

A forma como o processo de popularização ocorreu teve como uma das conseqüências o fato de que somente algumas partes da óptica newtoniana foram amplamente valorizadas. A análise do capítulo 5 ressaltou que muitos filósofos naturais procuraram estabelecer uma união entre os conceitos do *Óptica* com os do *Principia*, ignorando ou tratando superficialmente o que não poderia caber nesse intuito, como praticamente todo o conteúdo do Livro II. Aspectos obscuros como os estados de fácil transmissão e fácil reflexão foram pouco mencionados, destacando o impacto limitado que eles tiveram na óptica do início do século XVIII.

Sendo assim, alguns anos depois da publicação do *Óptica*, a óptica conhecida como “newtoniana” pelos filósofos naturais da época era uma óptica selecionada, cujos preceitos básicos pouco lembravam as idéias originais de Newton. Da mesma forma, várias partes duvidosas e questionáveis dessas idéias foram simplesmente ignoradas e raramente mencionadas.

Na segunda metade do século XVIII, a concepção corpuscular para a luz incorporada na óptica “newtoniana” percorreu caminhos diferentes. A razão disso está principalmente no fato do contexto ser outro. A pesquisa em óptica havia recomeçado e muitos trabalhos de defensores de outras concepções para a luz surgiram. Além disso, vários problemas relativos à teoria corpuscular foram discutidos, por exemplo, o fato dos raios de luz nunca se interferirem e a questão de uma eventual perda de massa do Sol. Isso foi um dos motivos que possibilitaram a ascensão da teoria ondulatória para a luz no século XIX.

Todos esses fatos ilustram a influência determinante que diversos contextos podem ter no desenvolvimento, estabelecimento, aceitação ou rejeição das idéias científicas. Como Ziman (1979) afirma, a Ciência é uma “atividade social” e, portanto,

Nunca se trata de um único indivíduo que passa sozinho por todas as etapas da cadeia lógico-dedutiva, e sim de um grupo de indivíduos que partilham entre si o trabalho mas fiscalizam permanente e zelosamente as contribuições de cada um. [...] Em linguagem sociológica, ele [o cientista] aprende a fazer o seu papel num sistema em que o conhecimento é adquirido, testado e finalmente transformado em propriedade pública. (ZIMAN, 1979, p. 25)

Dessa forma, o cientista está imerso no contexto em que vive e elabora suas idéias. Não se trata de um ser à parte. Da mesma maneira, essas idéias podem ser modificadas, aperfeiçoadas ou até mesmo completamente ignoradas, mesmo desempenhando papéis fundamentais em suas origens, como foi o caso do conceito de estados da luz. A Ciência faz parte da sociedade onde ela é desenvolvida e está em constante transformação.

A análise histórica realizada nos capítulos anteriores pode ser incluída, por exemplo, na elaboração de materiais didáticos voltados à formação de professores. Incorporados em diversas fases, esse estudo oferece recursos suficientes para discutir o

caráter social da Ciência e as influências que diversos contextos podem ter na construção do conhecimento científico.

7.4. A mutabilidade do conhecimento científico

Em livros científicos, didáticos ou de divulgação científica, as teorias científicas representam o ponto central do conteúdo, pelas quais o leitor deve guiar-se, a fim de compreender o discurso do autor. Frequentemente, as teorias científicas são apresentadas nesses materiais como algo pronto, desconsiderando os inúmeros estágios de seu desenvolvimento, os problemas que motivaram os cientistas a elaborá-las, as limitações que elas apresentam (GIL-PÉREZ et. al., 2001). A análise da recepção da óptica de Newton no início do século XVIII oferece argumentos interessantes para o questionamento dessa postura dogmática que cerca a apresentação das teorias científicas, principalmente se considerarmos o caminho percorrido pelas discussões do Livro II nesse processo.

No capítulo 5, verificamos que a óptica de Newton passou por uma fase de aperfeiçoamento e modificação pelos seus seguidores do início do século XVIII. Na intenção de construir um arcabouço teórico coerente para a concepção corpuscular para a luz, esses newtonianos visaram complementar ou modificar as idéias de Newton, a fim de adequá-las a um modelo mecânico para a luz. Aspectos de sua óptica que não poderiam ser incorporados nesse modelo ou que eram considerados insuficientes ou obscuros – como o conceito de estados da luz e boa parte do conteúdo do Livro II – foram tratados superficialmente ou esquecidos.

Sendo assim, alguns anos depois da publicação do *Óptica*, a óptica newtoniana conhecida e comentada pelos filósofos naturais da época era uma óptica selecionada,

cujos preceitos básicos pouco lembravam as idéias originais de Newton. Da mesma forma, várias partes duvidosas e questionáveis dessas idéias foram simplesmente ignoradas e raramente mencionadas.

Fatos como esses enfatizam o caráter mutável do conhecimento científico. As teorias que conhecemos e seguimos atualmente enfrentaram etapas distintas e complexas. Trazidas aos cursos de formação de professores, essas questões podem incentivar debates sobre como o conhecimento científico é estabelecido e quais são as razões que cercam sua aceitação ou rejeição, seus limites de validade, entre outros assuntos. Elas também são úteis para discutir sobre como as idéias científicas podem passar por uma espécie de “filtro”, em que todas aquelas consideradas inadequadas, obsoletas, obscuras, incoerentes etc. são excluídas ou reformuladas. Pontos como esses ressaltam que a Ciência está em constante transformação. Teorias não surgem em sua forma final, acabada e concisa repentinamente na mente dos cientistas. Pelo contrário, são resultados de intermináveis transições e modificações.

7.5. O mito dos grandes gênios

Não é raro encontrar em meios educativos trechos que exaltem os cientistas e seus feitos, geralmente colocando-o no patamar de grandes e perfeitos gênios da ciência. No caso de Newton, essa associação “cientista-gênio” é ainda mais comum. Como apontam os estudos de Martins (2006) e Pagliarini (2007), a imagem de Newton e de suas realizações em muitos desses meios é basicamente a mesma: ele foi genial, inigualável e insuperável.

Nos capítulos 4 e 5, vimos que essa genialidade projetada sobre a figura de Newton não é recente. Nos trabalhos de seus seguidores do século XVIII, vários trechos

mostram a grande idolatria nutrida por eles. O frontispício do *Éléments de la philosophie de Newton* de Voltaire mostrado no capítulo 4 é um exemplar fiel essa devoção.

Grande parte dessas idealizações da vida e dos feitos de um cientista é causada por abordagens pseudo-históricas de episódios da história da Ciência. Esses tratamentos apresentam uma forma romantizada desses episódios, geralmente retratando os cientistas como pessoas perfeitas, cujas descobertas seriam monumentais e inigualáveis (ALLCHIN, 2004). A história é concentrada no produto – sucesso das teorias, prestígio alcançado pelos cientistas etc. – e não no processo – erros cometidos, disputas ocorridas, falhas conceituais das teorias, dificuldades teóricas e experimentais, influência do contexto etc.

No campo da educação em ciências, essa idolatria exacerbada pode gerar uma predisposição de professores e alunos de que o conhecimento científico é algo para poucos, somente para aqueles dominados por uma habilidade única e intangível (GIL-PÉREZ et. al., 2001). Conseqüentemente, barreiras poderão ser criadas, prejudicando os processos de ensino e aprendizagem de conceitos científicos e afastando estudantes das carreiras em ciência.

A análise do Livro II do *Óptica* de Newton e de sua recepção no início do século XVIII evidencia, por sua vez, a inconsistência desse pensamento idolátrico, não somente sobre Newton, como também sobre vários outros cientistas.

As realizações de Newton em óptica – em outras áreas do que consideramos hoje como Ciência – foram, sem dúvida, determinantes para o progresso do conhecimento científico, para um entendimento melhor dos fenômenos naturais e do funcionamento do Universo. Entretanto, ao mesmo tempo em que elaborava teorias importantes, Newton construiu explicações inconsistentes, utilizou métodos comumente condenados por ele, entre outros fatos.

A sua óptica apresenta muitos aspectos que são considerados corretos até os dias de hoje e que foram bem fundamentados durante seu desenvolvimento. No entanto, também há aspectos problemáticos que raramente são lembrados. Por exemplo, de um lado, sua suposição sobre a heterogeneidade da luz branca se revelou como uma boa forma de compreender o aparecimento de raios coloridos quando um feixe de luz do Sol passava por um prisma, situado na posição de desvio mínimo. De outro lado, sua teoria para as cores dos corpos naturais, anéis coloridos em filmes finos, as especulações nas *Questões* revelam que Newton também era um pesquisador com muitas incertezas em seus pensamentos, ou seja, nada mais que um indivíduo suscetível a erros e acertos em sua conduta. As atitudes tomadas pelos newtonianos imediatamente posteriores a Newton no século XVIII evidenciam esses paradoxos. Como vimos no capítulo 5, a óptica de Newton passou por um notável processo de aperfeiçoamento, em que uma parte de seu conteúdo foi complementada e outra foi ignorada ou tratada superficialmente, como as idéias e teorias presentes no Livro II.

Além disso, deve-se levar em conta traços de sua personalidade que desempenharam papéis fundamentais tanto nos caminhos percorridos por ele quanto no relacionamento com outros filósofos naturais de seu tempo. Como apontam os estudos em Westfall (1980, 1987) e Keynes (1995), particularidades de seu caráter foram cruciais para os rumos tomados por Newton em suas vidas acadêmica e pessoal; sua postura reservada, seu estilo de escrever, a forma rígida com a qual defendia suas idéias, a maneira como auto promovia sua imagem e desprezava e destruía a dos concorrentes são alguns exemplos.

Como vimos no capítulo 4, a construção da imagem de Newton como um “gênio da Ciência” foi muito motivada por fatores sociais. No início do século XVIII, cresceu

um movimento para transformá-lo e popularizá-lo como um homem célebre, perfeito e inatingível, o “herói nacional” que as pessoas queriam prestigiar.

Dessa forma, a ilusão de que a Ciência é para poucos afortunados pela “luz divina” pode ser quebrada a partir da discussão do episódio histórico envolvendo a óptica de Newton no início do século XVIII, discutido neste trabalho. Por meio de reflexões como as indicadas nessa seção, os professores de ciências poderão compreender que o conhecimento científico é construído por pessoas comuns, vulneráveis às influências de fatores externos e suscetíveis a cometerem erros. Tais reflexões podem ser incluídas explicitamente em diversos momentos de suas formações. Transpondo para suas práticas em sala de aula, esse aprendizado poderá ser subsídio para que os professores discutam com seus alunos que a Ciência não é privilégio de gênios enclausurados em suas redomas de inteligência.

Chegamos, então, ao fim desse trabalho. Acreditamos que todas as análises e discussões acima podem oferecer subsídios para a inclusão na formação dos professores dos diversos aspectos consensuais da Natureza da Ciência discutimos no início a partir do estudo de episódios históricos como o apresentado nesse trabalho. Claramente, outros aspectos da NdC podem ser abstraídos desse estudo, complementando nosso discurso acima.

Este é o produto bruto de uma iniciativa que estamos expandindo, por meio da elaboração de artigos e trabalhos de divulgação. O trabalho não termina aqui. Este é um ponto intermediário (porém essencial) de muitas outras propostas que surgirão e que integrarão um objetivo maior que se fundamenta no intuito de nunca ter um ponto final na busca por uma educação científica melhor e cada vez mais reflexiva.

Referências bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F. Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional practice. **International Journal of Science Education**, v. 27, n. 1, pp. 15-42, 2005.

ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.L.; LEDERMAN, N.G. The Nature of Science and instructional practice: making the unnatural natural. **Science Education**, v. 82, pp. 417-36, 1998.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N.G. Improving science teachers' conceptions of the nature of science: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 7, pp. 665-701, 2000.

ALFONSO-GOLDFARB, A.M. **O que é História da Ciência?** São Paulo: Editora Brasiliense, 1994.

ALGAROTTI, F. **Sir Isaac Newton's theory of light and colours, and his principle of attraction, made familiar to the ladies in several entertainments.** V.1. London: [s.n], 1742a.

_____. **Sir Isaac Newton's theory of light and colours, and his principle of attraction, made familiar to the ladies in several entertainments.** V. 2. London: [s.n], 1742b.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, pp. 179-195, 2004.

ALTERS, B.J. Whose Nature of Science? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 1, pp. 39-55, 1997.

BARCELLOS, M.E. **História, sociologia, massa e energia – uma reflexão sobre a formação de pesquisadores em física**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2008.

BERNARDO, L.M. Concepções sobre a natureza da luz no século XVIII em Portugal. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 19, pp. 3-12, 1998.

BRUSH, S. Should History of Science be rated X? **Science**, v. 183, pp. 1164-72, 1974.

BUCHWALD, J.Z.; COHEN, I.B. (eds.) **Isaac Newton's natural philosophy**. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.

CANTOR, G.N. **Optics after Newton – theories of light in Britain and Ireland, 1704-1840**. Manchester: Manchester University Press, 1983.

CASINI, P. Newton's 'Principia' and the philosophers of the enlightenment. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v. 42, n. 1, pp. 35-52, 1988.

CASINI, P. **Newton e a consciência européia**. São Paulo: Editora Unesp, 1995.

CASTRO, R.S. **História e epistemologia da ciência: investigando suas contribuições num curso de física de segundo grau**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1993.

CHALMERS, A.F. **O que é Ciência, afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 2007.

CHEYNE, G. **Philosophical principles of religion: natural and revealed**. 2nd ed. London: [s.n.], 1715.

COHEN, I.B. Pemberton's translation of Newton's Principia, with notes on Motte's translation. **Isis**, v. 54, n. 3, pp. 319-51, 1963.

COHEN, I.B.; WESTFALL, R.S. **Newton – textos, antecedentes e comentários**. Rio de Janeiro: EdUERJ/Contraponto, 2002.

DESAGULIERS, J.T. An account of some experiments of light and colours, formerly made by Sir Isaac Newton, and mention'd in his Opticks, lately repeated before the Royal Society. **Philosophical Transactions**, v. 29, pp. 433-47, 1716a.

_____. A plain and easy experiment to confirm Sir Isaac Newton's doctrine of the different refrangibility of the rays of light. **Philosophical Transactions**, v. 29, pp. 448-52, 1716b.

_____. **Physico-mechanical lectures. Or, an account of what is explain'd and demonstrates in the course of mechanical and experimental philosophy**. London: [s.n.], 1717.

_____. An account of an optical experiment made before the Royal Society, on Thursday, Dec. 6th, and repeated on the 13th, 1722. **Philosophical Transactions**, v. 32, pp. 206-08, 1722.

DOBBS, B.J.T **The foundations of Newton's alchemy or "The hunting of the greene Lyon**. 2nd ed. Cambridge, London: Cambridge University Press, 1975, Reprinted: 1984.

EFLIN, J.T.; GLENNAN, S.; REISCH, G. The nature of science: a perspective from the philosophy of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 1, pp. 107-116, 1999.

FARA, P. **Newton – the making of genius**. New York: Columbia University Press, 2002.

FORATO, T.C.M. Isaac Newton, as profecias bíblicas e a existência de Deus. In: SILVA, C.C. (org.) **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

FRANKEL, E. Corpuscular optics and the wave theory of light: the science and politics of a revolution in physics. **Social Studies of Science**, v. 6, n. 2, pp. 141-84, 1976.

GASCOIGNE, J. Ideas of nature: natural philosophy. In: PORTER, R. (ed.) **The Cambridge History of Science – Volume 4 – Eighteenth century science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

GIL-PERÉZ, D.; MONTORO, I.F.; ALÍS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, pp. 125-153, 2001.

GJERTSEN, D. **The Newton handbook**. London: Routledge & Kegan Paul, 1986.

GLEISER, M. **Cartas a um jovem cientista – O Universo, a vida e outras paixões**. São Paulo: Elsevier, 2007.

GOETHE, J.W. **Doutrina das cores**. São Paulo: Nova Alexandria, 1996.

'sGRAVESANDE, W.J. **Mathematical elements of natural philosophy confirmed by experiments, or an introduction to Sir Isaac Newton's philosophy.** Trans. by J.T. Desaguliers. V. 2, 2nd ed. London: [s.n.], 1726.

GREEN, R. **The principles of natural philosophy.** Cambridge: [s.n.], 1712.

GUERLAC, H. Can we date Newton's early optical experiments? *Isis*, v. 74, n. 1, pp. 74-80, 1983.

HAKFOORT, C. **Optics in the age of Euler – conceptions of the nature of light, 1700-1795.** Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

HALL, A.R. Beyond the fringe: diffraction as seen by Grimaldi, Fabri, Hooke and Newton. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 44, n. 1, pp. 13-23, 1990.

_____. **All was light: an introduction to Newton's "Opticks".** Oxford: Clarendon Press, 1993.

HANS, N. **New trends in education in the 18th century.** London: Routledge, 1998.

HARRIS, J. **Lexicon Technicum; or, an universal English dictionary of arts and sciences, explaining not only the terms of art, but the arts themselves.** V. 1, 3rd ed. London: [s.n.], 1716.

_____. **Lexicon Technicum; or, an universal English dictionary of arts and sciences, explaining not only the terms of art, but the arts themselves.** V. 2, 2nd ed. London: [s.n.], 1723.

HELSHAM, R. **A course of lectures in natural philosophy**. 4th ed. London: Bryan Robinson, 1767.

HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. **Studies in Science Education**, v. 12, pp. 25-57, 1985.

IRWIN, A.R. Historical case studies: teaching the nature of science in context. **Science Education**, v. 84, n. 1, pp. 5-26, 2000.

KEYNES, M. The personality of Isaac Newton. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v. 49, n. 1, pp. 1-56, 1995.

KNIGHT, G. **An attempt to demonstrate that all the phenomena in nature may be explained by two active principles, attraction and repulsion**. London: [s.n.], 1754.

KUHN, T.S. The essential tension: tradition and innovation in scientific research. In: TAYLOR, C.W.; F. BARRON (eds.). **Scientific creativity: its recognition and development**. New York: John Wiley and Sons, 1963.

_____. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2006.

LARANJEIRAS, C. **Redimensionando o ensino de física numa perspectiva histórica**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1994.

LEDERMAN, N.G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 4, pp. 331-359, 1992.

_____. Nature of Science: Past, present, and future. In: ABELL, S.; LEDERMAN, N.G. **Handbook of research in Science Education**. New York: Routledge, 2007.

MANUEL, F.E. **The religion of Isaac Newton**. Glasgow, New York: Oxford University Press, 1974.

MARTINS, R.A. & SILVA, C.C. Newton and colour: the complex interplay of theory and experiment. In: BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E. & MATTHEWS, M.R. (eds.). **Science education and culture: the contribution of history and philosophy of science**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

MARTINS, R.A. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 9, pp. 3-5, 1990.

_____. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução**. 3ª edição. São Paulo: Moderna, 1995.

_____. Descartes e a impossibilidade de ações à distância. In: FUKS, S. (ed.). **Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998.

_____. História e História da Ciência: encontros e desencontros. In: **Actas do 1º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica**. Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001.

_____. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, C.C. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching – the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.

MAZZOTTI, M. Newton for ladies: gentility, gender and radical culture. **British Journal for the History of Science**, v. 37, n. 2, pp. 119-146, 2004.

McCOMAS, W.F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, n. 2-3, pp. 249-63, 2008.

McCOMAS, W.F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M.P. The Nature of Science in Science Education: An Introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, pp. 511-532, 1998.

McGUIRRE, J. E. & TAMNY, M. (eds.). **Certain philosophical questions: Newton's Trinity notebook**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

McMULLIN, E. The impact of Newton's Principia in the Philosophy of Science. **Philosophy of Science**, v. 68, n. 3, pp. 279-310, 2001.

MOURA, B.A.; SILVA, C.C. Newton antecipou o conceito de dualidade onda-partícula da luz? **Latin American Journal of Physics Education**, v. 2, n. 3, pp. 218-227, 2008.

_____. A teoria dos estados da luz: considerações sobre alguns papéis das hipóteses na óptica newtoniana. In: MARTINS, R.A.; SILVA, C.C.; FERREIRA, J.M.H.; MARTINS, L.A-C.P. **Filosofia e História da Ciência no cone Sul: seleção dos trabalhos do 5º Encontro**. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008.

NEWTON, I. [Discourse of observations]. In: COHEN, I. B. & SCHOFIELD, R. E. (eds.). **Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.

_____. **The optical papers of Isaac Newton**. Edited by Alan E. Shapiro. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

_____. **Óptica**. São Paulo: Edusp, 1996.

_____. **The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy; a new translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman**. Berkeley: University of California Press, 1999.

_____. A Hipótese da Luz. In: COHEN, I. B. & WESTFALL, R. S. (eds.) **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: EdUERJ – Contraponto, 2002.

PAGLIARINI, C.R. **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2007.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEMBERTON, H. **A view of Sir Isaac Newton's philosophy**. London: [s.n.], 1728.

PIETROCOLA, M. Linguagem e estruturação do pensamento na ciência e no ensino de ciências. In: PIETROCOLA, M; FREIRE JR., O. (orgs.) **Filosofia, Ciência e História** –

Michel Paty e o Brasil, uma homenagem aos 40 anos de colaboração. São Paulo: Discurso Editorial, 2005.

PRIESTLEY, J. The history and present state of discoveries relating to vision, light and colours. Whitefish: Kessinger Publishing, 2007.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims. **British Journal for the History of Science**, v. 24, n. 1, pp. 61-78, 1991.

ROWNING, J. A compendious system of natural philosophy. Part I. Of: The Properties of Bodies; Their Laws of Motion and The Mechanical Powers. Cambridge: [s.n.], 1734.

_____. **A compendious system of natural philosophy.** Part III. Optics. London: [s.n.], 1737.

RUSSELL, T.S. What History of Science, how much and why? **Science Education**, v. 65, n. 1, pp. 51-64, 1981.

SABRA, A. I. Theories of light from Descartes to Newton. London: Cambridge University Press, 1981.

SCHAFFER, S. Trabalhos com vidros. In: COHEN, I.B.; WESTFALL, R.S. **Newton – textos, antecedentes e comentários.** Rio de Janeiro: EdUERJ/Contraponto, 2002.

SHAPIRO, A.E. Beyond the dating game: watermark clusters and the composition of Newton's Opticks. In: HARMAN, P.M. & SHAPIRO, A.E. (eds.) **The investigation of**

difficult things: essays on Newton and the history of exact sciences in honour of D. T. Whiteside. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

_____. **Fits, passions, and paroxysms.** Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

_____. Experimentação e matemática na teoria newtoniana da cor. In: COHEN, I.B.; WESTFALL, R.S. **Newton – textos, antecedentes e comentários.** Rio de Janeiro: EdUERJ/Contraponto, 2002.

SIEGEL, H. On the distortion of History of Science in Science Education. **Science Education**, v. 63, n. 1, pp. 111-18, 1979.

SILVA, C.C.; MARTINS, R.A. A “Nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, pp. 313-27, 1996.

_____. A teoria das cores de Newton e as críticas de Hooke. **Atas do V Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia.** São Paulo: Sociedade Brasileira de História da Ciência, 1997.

_____. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, pp. 53-65, 2003.

SILVA, C.C.; MOURA, B.A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, artigo nº 1602, 2008.

SILVA, C.C. **A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

SMITH, R. **A compleat system of opticks**. Cambridge: [s.n.], 1738.

STEWART, L. Public lectures and private patronage in Newtonian England. **Isis**, v. 77, n. 1, pp. 47-58, 1986a.

_____. The selling of Newton: Science and Technology in early eighteenth-century England. **The Journal of British Studies**, v. 25, n. 2, pp. 178-92, 1986b.

TURNER, G.L'E. Eighteenth-century instruments and their makers. In: PORTER, R. (ed.) **The Cambridge History of Science – Volume 4 – Eighteenth century science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

VANNUCCHI, A.I. **História e filosofia da ciência: da teoria para a sala de aula**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1997.

VIDEIRA, A.A.P. Breves considerações sobre a natureza do método científico. In: SILVA, C.C. **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

VOLTAIRE. **Letters concerning the english nation**. London: [s.n.], 1733.

_____. **Elementos da filosofia de Newton**. Campinas: Editora da Unicamp, 1996.

WESTFALL, R.S. The development of Newton's theory of colour. **Isis**, v. 53, n. 3, pp. 339-58, 1962.

_____. **Never at rest, a biography of Isaac Newton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

_____. Newton's scientific personality. **Journal of the History of Ideas**, v. 48, n. 4, pp. 551-570, 1987.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in Physics Education – part 1. **Physics Education**, v. 14, n. 2, pp. 108-112, 1979a.

_____. History and quasi-history in Physics Education – part 2. **Physics Education**, v. 14, n. 4, pp. 239-242, 1979b.

WHITTAKER, E. **A history of the theories of aether and electricity – the classical theories**. London, New York: Thomas Nelson and Sons Ltd, 1951.

YEO, R. Classifying the sciences. In: PORTER, R. (ed.) **The Cambridge History of Science – Volume 4 – Eighteenth century science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

ZIMAN, J. **Conhecimento público**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979.