



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Câmpus de Bauru
Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência

REBECA CASTRO BIGHETTI

HISTÓRIA DA CIÊNCIA E LIVRO DIDÁTICO: ROBERT BOYLE E O
PNLD 2018-2020

Bauru - SP
2019



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Câmpus de Bauru
Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência

REBECA CASTRO BIGHETTI

**HISTÓRIA DA CIÊNCIA E LIVRO DIDÁTICO: ROBERT BOYLE E O
PNLD 2018-2020**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em educação para a Ciência, da área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Educação para Ciência.

Orientador: Prof.^ª Dr.^ª Sílvia Regina Q. Aro Zuliani.

Bauru - SP
2019

Bighetti, Rebeca Castro.

História da Ciência e Livro didático: Robert Boyle e o PNLD 2018-2020 / Rebeca Castro Bighetti, 2019
147 f. : il.

Orientadora: Silvia Regina Q. Aro Zuliani
Coorientador: José Bento Suart Júnior

Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2019

1. Robert Boyle. 2. Livro didático de Química. 3. História da Ciência. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

REBECA CASTRO BIGHETTI

**HISTÓRIA DA CIÊNCIA E LIVRO DIDÁTICO: ROBERT BOYLE E O
PNLD 2018-2020**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em educação para a Ciência, da área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Educação para Ciência.

Bauru, 18 de setembro de 2019.

Banca examinadora

Orientador: Prof.^ª Dr.^ª Sílvia Regina Q. Aro Zuliani. (Unesp/Bauru – SP)

Coorientador: Prof. Dr. José Bento Suat Júnior (UTFPR/Apucarana – PR)

1º examinador: Prof.^ª Dr.^ª Simone Alves de Assis Martorano (UNIFESP – SP)

2º examinador: Prof. Dr. Alexandre de Oliveira Legendre (Unesp/Bauru – SP)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE REBECA CASTRO BIGHETTI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 18 dias do mês de setembro do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências - Unesp/Bauru-SP, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. SILVIA REGINA QUIJADAS ARO ZULIANI - Orientador(a) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru, Profa. Dra. SIMONE ALVES DE ASSIS MARTORANO do(a) Departamento de Ciências Exatas e da Terra / Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, Prof. Dr. ALEXANDRE DE OLIVEIRA LEGENDRE do(a) Departamento de Química / Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de REBECA CASTRO BIGHETTI, intitulada **História da Ciência e livro didático: Robert Boyle e o PNLD 2018-2020**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. SILVIA REGINA QUIJADAS ARO ZULIANI

Profa. Dra. SIMONE ALVES DE ASSIS MARTORANO

Prof. Dr. ALEXANDRE DE OLIVEIRA LEGENDRE

Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani
Simone Alves de Assis Martorano
Alexandre de O. Legendre

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai (em memória) e a todos aqueles que estiveram ao meu lado, por terem sempre acreditado em mim e por me ajudarem a superar todas as dificuldades que enfrentei durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, principalmente, ao meu noivo Rafael Panice, à minha sogra Dalva Panice e à minha avó Oracy Bighetti, que me proporcionaram a realização deste trabalho. Sem vocês, jamais teria conseguido, pois me deram abrigo e forças para que este objetivo fosse alcançado.

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dra. Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani e Prof. Dr. José Bento Suart Jr., por tornarem possível esta realização, por todos os ensinamentos, pela paciência na orientação e pela confiança em mim depositada.

Agradeço ao meu pai, Elcy Bighetti, por estar ao meu lado todos os dias e me dar forças para continuar, mesmo sem estar presente fisicamente.

Agradeço ao querido amigo Prof. Marcelo Augusto Martins Fernandes que sempre me ajudou em todos os momentos. Sou muito agradecida por sua amizade e todos os ensinamentos.

Agradeço à minha irmã pela ajuda nos últimos dias de escrita, concedendo o seu apartamento em dias difíceis para realização desta dissertação.

Agradeço a todos os amigos e colegas que fiz durante esse período acadêmico, sejam amigos da UNESP, ou os colegas de trabalho.

Agradeço ao meu coordenador do Anglo Bauru, Antônio Bottino, pela paciência e por confiar em mim durante a realização desta dissertação, ajudando e me apoiando sempre que possível.

Infelizmente, esses parágrafos não são suficientes para agradecer a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase da minha vida. Enfim, um muito obrigada a todos aqueles que confiaram em mim desde o começo, me apoiaram, acreditaram em mim e estiveram ao meu lado! Sem todos vocês, isso não seria possível.

RESUMO

Normalmente, ensinar Química tem se tornado uma tarefa difícil, pois por se tratar de uma Ciência abstrata, muitos alunos não compreendem como ocorrem os fenômenos e geralmente possuem concepções distorcidas quanto à Natureza da Ciência (NdC), construindo modelos explicativos inadequados. Dessa forma, a busca por alternativas que auxiliem no processo de ensino-aprendizagem são inúmeras, e uma delas, bastante apontada na literatura, é o uso da História da Ciência (HC). A abordagem da HC no ensino pode colaborar para a melhor compreensão de como a Ciência é produzida, pois abordam-se as relações que existiram em diversos contextos históricos, além de apontar os fatos e acontecimentos que influenciaram cientistas ao longo dos anos para chegarem às suas teorias, leis e conquistas diversas. Porém, infelizmente, o instrumento mais utilizado pelo professor, o livro didático (LD), não apresenta tais informações de forma adequada e traz a imagem do cientista como “gênio infalível”, sem contextualizar o que cada um deles buscava ao efetuar um experimento, ou quais seriam as relações entre Ciência e Sociedade naquele momento histórico. Essa falha, apresentada na maioria dos LD, é preocupante, uma vez que promove deformações acerca das concepções sobre a NdC, ou até mesmo agrava uma deformação já existente. O LD possui um papel essencial na vida do professor, sendo o material mais acessível a ele, portanto, se tivermos um material de qualidade, conseqüentemente teremos uma possível melhoria na qualidade da aprendizagem. Pensando nisso, foram selecionadas para análise as contribuições de uma das mais importantes personalidades da Química, Robert Boyle, que muitas vezes é apresentado de forma deficiente nos LD que utilizam uma abordagem histórica inadequada. Buscamos, então, pesquisar como Boyle é apresentado nos LD de Química do PNLN e como poderíamos melhorar tal abordagem a partir de um breve texto histórico do cientista, desconstruindo visões distorcidas sobre a NdC presentes nestes materiais. A metodologia utilizada foi uma análise documental e bibliográfica para elaboração do texto histórico sobre as contribuições de Boyle e, posteriormente, comparou-se os elementos presentes no texto histórico com as abordagens históricas nos respectivos LD. Os resultados obtidos apontam que os seis LD analisados trazem descrições totalmente diferentes, apresentam contribuições importantes e, ao mesmo tempo, ignoram as reais contribuições de Boyle. Finalizando, concluímos que o texto elaborado que retrata as contribuições desse cientista pode ser utilizado para auxiliar o professor na abordagem histórica acerca de suas contribuições que, nos livros, limitam-se à Lei de Boyle.

Palavras-chave: Robert Boyle, Livro didático de Química, História da Ciência.

ABSTRACT

Teaching chemistry has often become a difficult task, because as it is an abstract science, many students do not understand how phenomena occur and generally have misconceptions about the nature of science (NoS), building inadequate explanatory models. Thus, the search for alternatives that help the teaching-learning process are numerous, and one of them, quite pointed in the literature is the use of the History of Science (HC). The use of HC in teaching can contribute to a better understanding of how science is produced, as it addresses the relationships that existed in various historical contexts, as well as pointing out the facts and events that have influenced scientists over the years to come to fruition, its theories, laws, and diverse achievements. Unfortunately, however, the most used instrument by the teacher, the textbook (TB), does not present such information adequately, and bring the image of the scientist as "infallible genius", without contextualizing what each of them sought when performing an experiment. , or what would be the relations between Science and Society that were taking place at that historical moment. This flaw in most TB is worrying because it promotes deformations about the conceptions of NoS, or even aggravates an existing deformation. The TB has an essential role in the teacher's life, and is the most accessible material for them, so if we have quality material, consequently we will have a possible improvement in the quality of learning. With that in mind, was selected to analyze the contributions of one of Chemistry's most important personalities, Robert Boyle, who is often poorly presented in TB using an inadequate historical approach. We then sought to research how Boyle is presented in the PNLD Chemistry TB, and how we could improve such an approach from a brief historiography of the scientist, deconstructing distorted views on NoS present in these materials. The methodology used was a documentary and bibliographical analysis, for the elaboration of the historiography about Boyle's contributions, and later, the elements present in the historiography were compared with the historical approaches in the respective TB. The results show that the six analyzed TB bring totally different descriptions, make important contributions, and at the same time ignore the real contributions of Boyle. In conclusion, we conclude that the historiography that portrays the contributions of this scientist can be used to assist the professor in the historical approach to his contributions, which in books is limited to Boyle's Law.

Keywords: Robert Boyle, Didact book of Chemistry, History of Science.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Mapa conceitual da seção 4.1.	59
Figura 2 – Robert Boyle.	60
Figura 3 – Primeira bomba de vácuo feita por Robert Boyle.	73
Figura 4 – Diagrama do dispositivo experimental da experiência de Boyle, “vácuo no vácuo”.	82
Figura 5 – Mapa conceitual das seções 4.2 e 4.3.	87
Figura 6 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ1.	96
Figura 7 – Trecho do texto onde é citado Evangelista Torricelli no LDQ1.	97
Figura 8 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ2.	98
Figura 9 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ3.	99
Figura 10 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ4.	100
Figura 11 – Segundo trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ4.	101
Figura 12 – Terceiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ4.	102
Figura 13 – Trecho do texto onde é citado Evangelista Torricelli no LDQ4.	103
Figura 14 – Primeiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.	104
Figura 15 – Segundo trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.	105
Figura 16 – Terceiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.	106
Figura 17 – Quarto trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.	108
Figura 18 – Primeiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.	109
Figura 19 – Trecho do texto onde aborda alquimia no LDQ6.	110
Figura 20 – Segundo trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.	110
Figura 21 – Terceiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.	111
Figura 22 – Quarto trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.	112
Figura 23 – Trecho do texto onde é abordada a história do atomismo no LDQ6.	113
Figura 24 – Quinto trecho onde Robert Boyle é citado no LDQ6.	114
Figura 25 – Sexto trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.	115

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1: Coleções de Química PNLD 2018-2020.	94
Quadro 2: Resumo da Análise das Visões.	95

LISTA DE ABREVIATURAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
LD	Livro Didático
LDQ	Livro Didático de Química
MEC	Ministério da Educação
NdC	Natureza da Ciência
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais Mais
PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
SUMÁRIO.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Abordagem Histórica no Ensino de Química e Ciências.....	14
1.2 História da Ciência e Historiografia da Ciência.....	19
1.3 O Livro didático e a História da Ciência no Ensino de Química.....	25
2 QUESTÃO DE PESQUISA	31
2.1 OBJETIVOS	31
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Pesquisa Qualitativa.....	32
3.2 Análise Documental e Bibliográfica.....	34
4 A INFLUÊNCIA DE ROBERT BOYLE NO DESENVOLVIMENTO DA QUÍMICA ATRAVÉS DE UM BREVE ESTUDO HISTORIOGRÁFICO	36
4.1 A História da Química antecedente a Robert Boyle.....	37
4.2 Robert Boyle e a Química Mecanicista.....	60
4.3 Boyle <i>versus</i> Hobbes.....	76
5 AFINAL, QUEM SERIA O BOYLE NO LIVRO DIDÁTICO?.....	88
5.1 Visões distorcidas sobre a Natureza da Ciência.....	88
5.2 Análise dos Livros Didáticos de Química (PNLD 2018-2020).....	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICES.....	132

1 INTRODUÇÃO

A prática da Educação em Química ainda carece, em grande extensão, de resultados de investigação, posições filosóficas ou avanços em novas formas de abordar o conhecimento. Portanto, sentimos a necessidade de recorrer a novas formas de se ensinar Química e, dentre elas, o uso da História da Ciência no ensino de Ciências tem sido apresentado na literatura da área como um importante recurso pedagógico para promover a educação científica (CACHAPUZ et al., 2005; NIAZ, 2001; MATTHEWS, 1994, 1990).

Martins (2006) destaca que estudar episódios históricos de maneira adequada pode auxiliar na construção do conhecimento de forma gradativa, promovendo a formação adequada da visão de ciência e sua natureza, destacando suas limitações e procedimentos. Dessa forma, tem-se a desmitificação do conhecimento científico e a contribuição para formação de um espírito crítico, fundamentada através da utilização mais adequada da História da Ciência (MARTINS, 2006).

Também devemos evidenciar que, mesmo que a implementação desse tipo de abordagem de ensino seja ineficaz em nosso país, muitos educadores de ciências apoiam o ensinar e aprender com História da Ciência. Além disso, dentre os desafios enfrentados para essa implementação, o principal obstáculo a ser considerado é a História da Ciência que aparece nos livros didáticos (HÖTTECKE; SILVA, 2011; VIDAL; PORTO, 2012).

O Livro Didático é um recurso pedagógico que ajuda os professores nas sequências didáticas e currículos que devem ser ministrados em suas aulas, portanto, a seleção de um livro didático adequado é um ponto muito importante (MAIA et al., 2011).

Siganski, Frison e Boff (2008) destacam que os livros didáticos, em geral, apresentam algumas falhas, como trazer uma ciência descontextualizada, ou até mesmo a idealização do método científico. Para os autores, o mesmo pode interferir de modo significativo nos processos de desenvolvimento dos conteúdos, visto que, muitas vezes, ele passa a assumir o papel de currículo e de definidor das estratégias de ensino, justamente por ser a única referência para o trabalho do professor, um contexto que acaba trazendo implicações para o uso da História da Ciência em sala de aula.

Sobre essa questão, as abordagens históricas adotadas em muitos livros didáticos parecem não ser adequadas, pois as obras retratam uma história muitas vezes errônea, resumida a quadros laterais de forma muito simples, com meras cronologias e rupturas inexistentes, sem contextualizar os acontecimentos. Tais abordagens têm uma forte influência do “whiggismo” (estudo do passado com os olhos do presente) e há muito mais narrativas pseudo-históricas

(nesse tipo de história é comum ocorrer a romantização de cientistas, descobertas por insight, a presença apenas de experimentos cruciais, a exclusão total de erros dos cientistas) do que transposições de bons estudos históricos, tornando o conteúdo histórico apresentado insuficiente para o aprendizado, por dar uma ideia equivocada sobre a ciência e a atividade científica, ou, pior ainda, consolidando concepções errôneas sobre como a ciência funciona. Dessa forma, os autores destacam que são os livros didáticos que irão moldar a Ciência do ensino, e quando a mesma é transmitida de forma inadequada causa visões distorcidas sobre a natureza da ciência (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Neste contexto, uma personalidade da Química cuja contribuição tem apresentado deformações historiográficas é Robert Boyle, que é frequentemente mencionado nos livros didáticos de forma incompleta e inadequada. Dessa forma, quais seriam os fatos e as características que os livros deveriam trazer sobre a História da Ciência para apresentar o Boyle de uma maneira mais próxima da realidade a fim de sustentar sua importância?

Responder a essa questão é o objetivo deste trabalho, que tem como critério de análise a comparação entre as diferentes visões distorcidas acerca da natureza da ciência propostas por Gil-Pérez et al. (2001), destacando como elas aparecem nos livros didáticos de Química (PNLD 2018-2020) e o modo como tais visões podem ser desconstruídas a partir de um texto histórico, elaborado neste trabalho, sobre Robert Boyle.

O presente trabalho, portanto, iniciará com a descrição da abordagem Histórica no Ensino de Química e Ciências, destacando como ela está sendo feita na área, suas vantagens e desvantagens, seguindo da definição de História da Ciência, sua origem como área de estudo e tipos de Historiografia.

O capítulo sobre o livro didático vem em seguida para esclarecer a importância de sua utilização e os cuidados que devem ser tomados, além da descrição de como a História aparece no mesmo, destacando as limitações de sua abordagem inadequada e suas contribuições quando abordada de forma adequada.

Logo depois, temos um breve estudo historiográfico para relatar quais foram as contribuições importantes feitas por Robert Boyle ao longo de sua jornada como cientista, além de apresentar suas principais influências.

Por último, será apresentada a análise dos livros, comparando os elementos presentes e ausentes no estudo historiográfico, destacando a importância de esses estarem ou não nos livros.

1.1 Abordagem Histórica no Ensino de Química e Ciências

O uso da História da Ciência no ensino de Ciências tem sido apresentado na literatura da área como um importante recurso pedagógico para promover a educação científica (CACHAPUZ et al., 2005; NIAZ, 2001; MATTHEWS, 1994, 1990; MARTINS, 2006).

Segundo Brush (1974), o desinteresse pelos aspectos filosóficos da Química por parte de filósofos, químicos e educadores espelha observações anteriores sobre uma falta de interesse semelhante em relação à História da Química: os químicos, comparados com outros cientistas, têm relativamente pouco interesse na história de seu próprio assunto. Essa situação foi refletida e perpetuada pelo caráter anti-histórico da maior parte da educação química por um bom tempo (BRUSH, 1974).

Infelizmente, a abordagem histórica no Ensino de Química geralmente não é feita de maneira adequada, isto pode ser refletido nos livros didáticos que retratam a história de forma simples, como cronologias, descobertas internalistas e historiografias anacrônicas, o que é insuficiente, pois pode dar uma ideia equivocada sobre a ciência e a atividade científica, mantendo os alunos num certo analfabetismo científico. Devido a este fato, a maioria dos alunos possui uma concepção de ciência equivocada, acreditando em genialidades, como se a ciência fosse neutra, verdade absoluta, e que os indivíduos relacionados a ela, como cientistas, não “erram”, são infalíveis. Segundo Cachapuz et al. (2005), tal fato pode ser chamado de “visão deformada da Ciência”, pois são ideias difundidas entre professores, alunos e grande parte da sociedade em geral.

O Ensino de Ciências, quando se volta essencialmente a apresentar conhecimentos já elaborados (como leis, postulados e etc.), pode gerar consequências indesejadas, como o desenvolvimento das “visões deformadas sobre a Ciência”, que produzem uma rejeição ou desinteresse dos estudantes pela Ciência, pois muitos acreditam que apenas os cientistas sejam capazes de fazer e compreender a Ciência, o que desestimula os estudantes, tornando o ensino fatigante, memorístico e desvinculado da realidade. De acordo com Cachapuz et al. (2005), existem sete concepções bastante comuns que são consideradas inadequadas e prejudiciais ao entendimento da Ciência:

- (1) visões descontextualizadas da Ciência (ou seja, a Ciência vista como socialmente neutra e isolada do meio em que é produzida);
- (2) concepções individualistas e elitistas (Ciência feita por uma elite de homens geniais, cada qual trabalhando sozinho em seu laboratório);
- (3) concepções empírico-individualistas e atóricas (com excessiva ênfase na observação e experimentação);
- (4) visões rígidas, algorítmicas, infalíveis (não contemplam

o caráter tentativo, as dúvidas, a criatividade na Ciência); (5) visões não problematizadas e a-históricas (a Ciência se constitui em conhecimento acabado e dogmático, construído de maneira arbitrária); (6) visões exclusivamente analíticas (Ciência “superespecializada”, que trata somente de situações simplificadas e idealizadas); (7) visões acumulativas, de crescimento linear (a Ciência não inclui crises nem remodelações profundas) (CACHAPUZ et al., 2005, p. 171).

Boa parte das visões acima está presente no texto dos livros didáticos que, muitas vezes, são o único instrumento disponível ao professor em sala de aula, trazendo a História da Ciência com tais características, geralmente em “chamadas” isoladas no canto da página do livro. Considerando as concepções errôneas ou ingênuas relatadas, podemos dizer que o principal objetivo dos educadores deveria ser a superação dessas visões inadequadas. Um dos principais recursos seria a inclusão da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino, que poderia assumir um papel muito importante nesse processo.

Para Vidal e Porto (2012), é importante aprender aspectos do processo de construção do conhecimento científico, principalmente sua interação com o contexto social, pois é necessário que o aluno reconheça a constante necessidade humana de buscar respostas para os eventos que os cercam, além dos conteúdos, considerados como os produtos da ciência. No entanto, a abordagem desses conhecimentos nas aulas necessita de um professor preparado, como alertam Ternes, Sheid e Güllich (2009), uma vez que a falta de aportes teóricos, e até mesmo de capacitação, levam o professor a acreditar, de forma equivocada, em relatos históricos apresentados em livros didáticos que, na maioria das vezes, apresentam a dimensão histórica e filosófica de maneira muito simples, o que pode contribuir para a formulação de concepções epistemológicas inadequadas por parte dos estudantes.

Segundo Martins (2006), o estudo adequado de episódios históricos permite perceber o processo social e gradativo da construção do conhecimento, propiciando uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, suas limitações e procedimentos. Dessa forma, tem-se a desmitificação do conhecimento científico, contribuindo para formação de um espírito crítico, ou seja, pode-se construir uma visão adequada da ciência e bem fundamentada a partir da utilização correta da HFC (MARTINS, 2006).

Matthews (1992) acredita que a abordagem HFC possui um grande potencial didático, e sua presença no Ensino de Ciências pode trazer vários benefícios, como: humanizar as ciências e torná-las mais conectadas com as preocupações pessoais, éticas, culturais e políticas; pode tornar as aulas mais desafiadoras, aprimorando, assim, as habilidades de pensamento crítico; pode contribuir para o entendimento mais completo de conceitos científicos, contribuindo na superação da “falta de significado” que acontece em muitas salas de aula de

ciências. Nestas, as fórmulas e equações são recitadas, mas poucos alunos têm clareza sobre o que elas significam. A HFC pode também melhorar a formação de professores, contribuindo para o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, isto é, uma maior compreensão da estrutura da ciência e seu lugar no esquema intelectual das coisas. Portanto, para Matthews (1992), é de extrema importância a inclusão de componentes de História e Filosofia da Ciência nos currículos escolares.

Em geral, o desenvolvimento do currículo científico tem relegado a HFC ao segundo plano e as visões da ciência contidas nas propostas curriculares têm sido confusas, muitas vezes contraditórias e baseadas em filosofias duvidosas. Portanto, há uma necessidade urgente de reconsiderar a base epistemológica do currículo de ciências à luz das visões contemporâneas presentes na Filosofia e Sociologia da ciência, pois considera-se que a incorporação de um maior conteúdo de HFC nos currículos possa contribuir para a humanização do ensino, facilitando a mudança de concepções simplistas sobre a ciência para posições mais relativistas e contextualizadas sobre esse tipo de conhecimento (HODSON, 1985).

Porto (2010) ressalta que existem diversas recomendações para a inclusão da História da Ciência nos currículos, e estas podem ser observadas em diversos países, porém é importante lembrar que ao longo do tempo as concepções a respeito da História da Ciência foram se modificando. O emprego da História no Ensino de Química, no Brasil, já havia sido recomendado pela Reforma Francisco Campos em 1931:

Ao professor ainda compete referir, abreviadamente, a propósito das descobertas mais notáveis da Química, a evolução dos conceitos fundamentais através dos tempos, revelando aos alunos os grandes vultos da História, a cuja tenacidade e intuição deve a civilização contemporânea, além da satisfação espiritual de dilatar o conhecimento do mundo objetivo, o concurso dos processos químicos em benefício da saúde, das comodidades da vida, da defesa e do desenvolvimento das nações. (CAMPOS, 1942, s.p.)

De acordo com Porto (2010), é importante observar que, na época da reforma, já se entendia que o Ensino de Química não poderia ser constituído somente pelo ensino de conteúdo, pois existia a preocupação com o ensino de valores relacionados à Ciência e aos aspectos de sua produção histórica. Algumas narrativas históricas nutrem pontos de vista comuns sobre a ciência baseados em concepções empírico-indutivas e transmitem a ideia de que a ciência é constituída de verdades irrefutáveis produzidas por gênios (MARTINS, 2006).

Além dos autores que defendem a abordagem histórica, pode-se encontrar em documentos oficiais, como nos PCN+, especificamente na Química, algumas habilidades e competências a serem desenvolvidas por alunos do Ensino Médio, envolvendo História da Ciência. Entre elas podemos citar:

É fundamental que se mostre através da História, as transformações das ideias sobre a constituição da matéria, contextualizando-as. A simples cronologia sobre essas ideias, como é geralmente apresentada no ensino, é insuficiente, pois pode dar uma ideia equivocada da Ciência e da atividade científica, segundo a qual a Ciência se desenvolve de maneira neutra, objetiva e sem conflitos, graças a descobertas de cientistas, isoladas do contexto social, econômico ou político da época. (BRASIL, 2002, p. 96)

Também temos, dentro das competências e habilidades sugeridas para a área de ciências da natureza, na BNCC, a importância de se desenvolver a contextualização histórica:

Na mesma direção, a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da História da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura... Ainda com relação à contextualização histórica, propõe-se, por exemplo, a comparação de distintas explicações científicas propostas em diferentes épocas e culturas e o reconhecimento dos limites explicativos das ciências, criando oportunidades para que os estudantes compreendam a dinâmica da construção do conhecimento científico. (BRASIL, 2019, p. 550)

As abordagens de conteúdos no processo de ensino e aprendizagem, segundo Oki e Moradillo (2008), pode se dar de duas formas, a implícita e a explícita. A abordagem implícita deve possibilitar a inserção do aluno em atividades investigativas, incluindo instruções sobre a prática científica. Já na abordagem explícita, as atividades planejadas incluem investigações e exemplos históricos que possibilitam discussões, reflexões guiadas e questionamentos específicos sobre o assunto, o objetivo é direcionado para aumentar a compreensão da natureza da ciência de forma a incluir a discussão dos conteúdos epistemológicos.

É muito importante que a abordagem de conceitos científicos esteja relacionada à construção dos mesmos, assim, a HFC possibilita o conhecimento do contexto em que surge determinado conceito, ajudando na mediação adequada dos significados que devem ser adquiridos pelo estudante (CHACAPUZ et al., 2005).

De acordo com Debus (1971), por meio da História da Ciência, é possível propiciar aos estudantes maior compreensão acerca das disciplinas científicas:

Acredito que seja importante – talvez essencial – para um estudante compreender o papel da ciência em nosso mundo – e acredito que a melhor maneira de se fazer isso é através da história. Este é um recurso precioso para os estudantes entenderem os fatores que afetam a mudança de visão do homem a respeito da natureza [...]. (DEBUS, 1971, p. 804)

Dessa maneira, a abordagem histórica no Ensino de Química pode auxiliar no entendimento da natureza do conhecimento científico, permitindo ao aluno compreender o surgimento e o avanço científico, de maneira a compreender as diferentes filosofias defendidas

pela Humanidade, diminuindo a probabilidade de se desenvolver qualquer uma das visões não científicas citadas anteriormente. A História da Ciência no Ensino de Ciências tem sido feita em torno dos seguintes objetivos: a motivação dos alunos; melhor compreensão de conceitos científicos, traçando o seu desenvolvimento e refinamento; o valor intrínseco de compreender certos episódios cruciais à História da Ciência - a Revolução Científica, o Darwinismo, etc.; o 'Historicising' da ciência, ou a demonstração de que a Ciência é mutável, e que, conseqüentemente, a compreensão científica atual é passível de ser transformada; e a compreensão mais rica do método científico e, mais geralmente, da natureza da ciência (MATTHEWS, 1994).

Para Vidal e Porto (2012) o estudo histórico de como um cientista realmente desenvolveu sua pesquisa ensina mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia científica. Por esta razão, o estudo com abordagens históricas no Ensino de Química deveria proporcionar aos discentes uma visão mais completa e interligada do desenvolvimento contextualizado dessa Ciência, ou seja, deixando de se tornar algo abstrato para fortalecer um ponto de vista mais crítico e real dos fatos, pois é clara a importância de entender a necessidade de obter respostas em um dado momento histórico e como seria se não pudessemos usufruir destes conhecimentos nos dias de hoje. Nesta perspectiva, definiremos o que é a “História da Ciência”, discutindo suas aplicações e importância, assim como sua relação com a Historiografia.

1.2 História da Ciência e Historiografia da Ciência

Sempre que falamos em História da Ciência, dificilmente paramos para pensar em sua definição, segundo Alfonso-Goldfarb (2004, p.8) “não basta juntar História e Ciência para que o resultado provavelmente seja História da Ciência”.

A História, de acordo com Kragh (2001), pode ser distinguida em dois significados diferentes, o termo História (H₁) e o História (H₂). A História (H₁) é conhecida como a história que descreve fenômenos ou acontecimentos que ocorreram no passado, sendo considerada uma história mais objetiva. Dessa forma, Kragh (2001) exemplifica que, em expressões como “...através da história...”, a história deve ser entendida como “o passado” e destaca que não temos acesso a esse passado, o que temos são somente partes que foram transmitidas por fontes de informação ou por meio dos historiadores (KRAGH, 2001).

Já o termo História (H₂) pode ser utilizado no sentido de análise histórica, ou seja, depende da interpretação do historiador. Portanto, o objeto da História (H₂) é a História (H₁). Resumindo, temos que a História pode possuir um sentido de passado, limitada somente aos fatos que ocorreram, os quais não conhecemos bem, ou um sentido de investigação e/ou interpretação histórica buscando seus resultados e tendo como base a história dos fatos ou acontecimentos (KRAGH, 2001).

A partir destas definições, quando estudamos sobre história, também nos deparamos com termos como “historiografia”, que segundo Kragh (2001), provêm muitas vezes de H₂, significando textos sobre História, e como descreve Martins (2005), que procuram desvendar aspectos da História, mas não uma mera descrição da realidade histórica. De acordo com Cruz (2006, p. 163):

Historiografia é, então, a escrita da história, mas ela não é apenas isso. A historiografia é uma disciplina preocupada com a pesquisa histórica em si; em como fazer a coleta de dados; quais os critérios de escolha dos dados; como analisar; qual orientação teórica utilizar.

Existem dois significados para esse termo, sendo simplesmente a escrita profissional sobre História, descrevendo os acontecimentos do passado, ou simplesmente reflexões teóricas sobre a natureza da História (H₁). No último significado, considera-se a historiografia como uma meta-disciplina, tendo como objeto H₂. Dessa forma, uma História somente descritiva não é historiografia, mas pode ser usada para uma análise historiográfica. Em geral, Kragh (2001) afirma:

A história tem a ver com atividades humanas, de preferência com as atividades socialmente relevantes. Há fatores não humanos que se incluem naturalmente na história, uma vez que influenciaram atividades humanas. Se alguém está interessado na história da agricultura no final da Idade Média, por exemplo, é preciso levar em consideração as variações climáticas durante esse período. O clima revela um desenvolvimento temporal, mas não histórico. (KRAGH, 2001, p. 24)

A partir do trecho destacado, não somente variações climáticas estão entre os fatores não humanos, mas também os aspectos sociais, políticos, econômicos, religiosos, entre outros, que tanto podem influenciar, como já influenciaram “humanos” em diversos episódios na História, como nas tomadas de decisões, nas escolhas que deveriam tomar em relação às pesquisas que eram feitas na época, etc. Relações, tendências, estruturas e analogias, segundo Kragh (2001), não podem ser um conjunto de acontecimentos individuais e não são fixos no tempo e espaço. Para Magalhães e Salateo (2015, p. 19):

Os externalistas, em geral, admitem a ocorrência de “revoluções científicas”, caracterizadas como o mais alto grau de descontinuidade na história, enquanto os internalistas costumam admitir as duas formas de evolução da ciência: contínua e descontínua. (MAGALHÃES; SALATEO, 2015, p.19)

Em definição, a visão de que a Ciência seria isolada das circunstâncias que se encontram fora dela, que compreende a história das transformações no conhecimento como decorrentes de fatores internos à lógica das teorias científicas, como se os cientistas permanecessem praticamente imunes ao seu contexto social, é chamada de “internalismo”. Já o “externalismo”, pelo contrário, admite que as circunstâncias sociais, econômicas, políticas e culturais afetariam a busca do conhecimento científico propriamente dito. Considera-se adequado um equilíbrio entre o internalismo puro e um externalismo social na História da Ciência, uma vez que essas não são posições contraditórias, mas complementares (MAGALHÃES; SALATEO, 2015).

Segundo Videira (2007), a historiografia positivista deu origem a uma modalidade em História da Ciência que ficou conhecida como *whig*. Quem deu origem a esse termo foi Herbert Butterfield, em 1931, que pretendia combater esse tipo de historiografia, pois considerava “o pecado mais mortal que um historiador poderia cometer” (VIDEIRA, 2007, p. 141). Brush (1974) destaca que a História *Whig* é precisamente o que o professor de ciências quer, pois está interessado apenas nos desenvolvimentos anteriores que levaram às teorias e leis estabelecidas hoje. O Whiggismo ocorre quando a HC busca uma visão geral e abreviada da História, que pode gerar relatos distorcidos, analisando o passado com os olhos do presente.

Whitaker (1979) critica esse tipo de abordagem historiográfica e relata que muitos historiadores acabam distorcendo a sequência e o significado de acontecimentos científicos,

fazendo com que o processo histórico da ciência pareça mais racional e objetivo, o que ele chama de “*quasi-history*”. Para ele, é como se fosse uma distorção da História da Ciência.

O diacronismo seria o oposto, é compreender o passado em seus próprios termos, o que Videira (2007, p. 153) considera como um dos objetivos principais da História da Ciência e destaca o exemplo de Thomas Kuhn:

Kuhn, por exemplo, defendeu a mesma ideia em 1962. Não me interessa aqui saber quem foi o primeiro a sugerir tal tese; o que importa é chamar a atenção para o fato de que, se essa sugestão é válida, é preciso que o historiador modifique sua estrutura conceitual de modo a poder compreender o passado. Nos termos de Kuhn, é preciso que o historiador da ciência adote uma postura semelhante à de um antropólogo quando este investiga os hábitos e costumes de civilizações distintas da sua.

Oliveira e Condé (2002, p. 144) destacam a importância de Kuhn na História da Ciência:

Thomas Kuhn é tido como um divisor de águas na história das ciências. Sua noção de *paradigma* como algo que circunscreve o que o cientista observa e problematiza, e a consideração de que diferentes paradigmas científicos são incomparáveis (“incomensuráveis”) teria fomentado uma abordagem sócio-construtivista das ciências, que procura compreender a prática e o desenvolvimento científico como equivalente ao de qualquer outra instituição social, isto é, como fruto de negociações e acordos entre grupos. Dessa forma, em vez da comparação analítica das teorias, que visa à análise da coerência, ou de sua abrangência e alcance, procura-se entender o sucesso das explicações científicas como vinculado à trama social, política e institucional na qual tais explicações são produzidas, mantidas e alteradas.

Nesse contexto, a historiografia também pode ser influenciada por diversos fatores, sejam ideologias de cada historiador, interpretações da história e visão científica que o mesmo possui, se o mesmo é ou não um cientista. Esses fatores estão implícitos no contexto histórico no qual o historiador vive e trabalha e, dependendo de cada aspecto, essa historiografia pode ou não ser de qualidade, podendo abordar mais História do que Ciência, mais Ciência do que História, além do cuidado na seleção das fontes historiográficas. Portanto, segundo Videira (2007, p. 154):

As preferências historiográficas são, em parte, determinadas pelas “preferências” dos tempos em que são formuladas e discutidas. Apesar de esses pontos serem óbvios, é necessário, de tempos em tempos, repeti-los, para que dogmas historiográficos não sejam produzidos.

Dependendo da necessidade, Videira (2007, p. 122) complementa que a historiografia “pode contribuir para que se construa uma imagem de ciência mais elaborada, realista e complexa”. Ao adotar um discurso crítico, deve-se mostrar de forma clara as bases sobre as quais os discursos históricos são construídos, sejam elas epistemológicas, históricas ou políticas. Cruz (2006, p. 163), destaca:

Assume-se, portanto, que a pesquisa historiográfica, como qualquer pesquisa em qualquer campo do conhecimento, irá definir critérios arbitrários para direcionar sua investigação. Critérios esses que estão baseados na concepção epistemológica e científica que se tem do objeto de estudo e da própria história.

Além da História, temos a Ciência, que também pode ser distinguida em dois níveis. A Ciência C_1 , de acordo com Kragh (2001), é como se fosse uma coletânea de informações referentes a afirmações empíricas e formais acerca da natureza. Dessa forma, C_1 é caracterizada como produto acabado, o tipo de ciência que não atrai o historiador, pois não é compreendida como comportamento humano. Já a Ciência C_2 é considerada historicamente relevante, uma vez que diz respeito ao comportamento ou atividades dos filósofos, ou seja, ciência como comportamento humano, que não encontramos em livros. Dessa forma, nas palavras de Kragh (2001), “ C_2 contém C_1 como resultado de um processo, mas o processo em si não se reflete em C_1 ”, portanto, se não reconstruirmos C_2 a partir de fontes históricas, não poderemos encontrá-la em artigos ou livros.

Dentro dessa discussão, temos que, muitas vezes, a História da Ciência será ou HC_1 ou HC_2 , dependendo do conhecimento científico do historiador, que muitas vezes não possui um bom domínio do aspecto técnico da ciência sobre a qual escreve. Neste sentido, muitas vezes, HC_2 não terá nada de C_1 pelo fato de os historiadores não serem cientistas. Para Martins (2005), os historiadores da ciência não refletem sobre os fenômenos naturais, e sim sobre os seres humanos envolvidos no estudo dos fenômenos naturais.

Segundo Kragh (2001), muitos historiadores da ciência compartilham a opinião de que a importância deveria ser dada às relações históricas e sociais, sendo os pormenores técnicos de menor relevância, mas também existem aqueles que não levam em consideração historiadores que não possuem conhecimento específico da ciência que estudam, pois estes não compreendem de forma adequada os conhecimentos técnicos. Nas palavras de Martins (2005):

Muitos historiadores da ciência (provavelmente a maioria deles, hoje em dia) nega a validade de utilizar o conhecimento científico atual para refletir sobre o passado. Tais historiadores consideram que a utilização de conhecimento científico por parte do historiador constitui um retrocesso ao “whiggismo” ou “presentismo”. (MARTINS, 2005, p. 12)

Sendo assim, Martins (2005) destaca que, tanto na ciência quanto na historiografia, as concepções gerais do historiador ou pesquisador, muitas vezes implícitas, influenciam a forma do mesmo ver seu objeto de estudo, o que impede a visão de certos aspectos do mundo pesquisado, pois distorce seu campo visual, como foi citado anteriormente (MARTINS, 2005).

Resumidamente, determinar quando se deve ignorar os aspectos científicos depende largamente do tópico a ser tratado e da perspectiva a ser estudada, uma vez que “quanto mais

se aproximar do assunto científico, mais perigoso será abordá-lo de forma superficial” (KRAGH, 2001, p.27).

Portanto, o resultado que temos hoje é uma História da Ciência complexa e com muitas faces, que possui elementos de história, sociologia e de várias ciências humanas, que Alfonso-Goldfarb (1994) destaca ter dado um novo “sabor” aos componentes da Ciência e da Filosofia, os quais há tempos se combinavam para formar essa área de estudos, assim:

Métodos e processos foram criados para que a História da Ciência pudesse adaptar, de maneira harmoniosa, esses conhecimentos variados vindos das diversas áreas. Formou-se assim um campo original de pesquisa com vida própria e tudo o mais, e, ao mesmo tempo, em constante comunicação com essas áreas que emprestaram seus conhecimentos a História da Ciência...A História da Ciência nasce, assim, ligada a própria Ciência. Muito mais do que uma história, ela é uma justificativa da Ciência que estava se formando, e tem, portanto, o perfil do debate que está gerando esta formação (ALFONSO-GOLDFARB, 1994, p. 9 e 11).

Segundo Vidal (2009), pode-se considerar que, a partir do lançamento da revista *Isis*, pelo belga George Alfred Leon Sarton (1884 – 1956) em maio de 1912, a História da Ciência começou a se institucionalizar como área de pesquisa independente, pois a revista era destinada a tratar de assuntos referentes à História da Ciência, um fator que deu força a essa área de pesquisa.

A História da Ciência começou a receber maior atenção a partir da Segunda Guerra Mundial, expandiu-se rapidamente nos EUA e por este motivo começou a se dividir, divisões entre os que se dedicavam a ela, que foram se acirrando a ponto de causar problemas de diálogo entre os especialistas. Dentre as divisões tem-se a de concepções de História da Ciência, que se radicalizou na década de 70, e os modos de fazer história (VIDEIRA, 2007).

Entre 1950 e 2000, a disciplina História da Ciência viveu três fases historiográficas: a primeira fase foi caracterizada como positivista e presentista, a segunda como pós-positivista e a terceira foi conhecida como pós-modernista. A primeira fase permaneceu constante até o início dos anos 60 nos EUA; já na Europa, o positivismo não conseguiu tanto apoio, devido à presença das diferentes escolas filosóficas. O positivismo, segundo Videira (2007), é uma doutrina filosófica desenvolvida por Auguste Comte na primeira metade do século XIX e sua finalidade era consolidar uma era científica e positiva, defendendo a ideia do progresso linear e direcionando a saber a verdade, ou seja, a História da Ciência não teria nenhuma relação com a Filosofia da Ciência (VIDEIRA, 2007).

A segunda fase surgiu a partir de dois fatores, o primeiro seria a influência de Thomas Kuhn após 1962, ano em que publicou sua obra “A Estrutura das Revoluções Científicas”, e o

outro diz respeito à resposta de Imre Lakatos, que reconheceu a importância das críticas dirigidas por Kuhn ao Círculo de Viena e Karl Popper. Lakatos desenvolveu uma resposta baseada na existência dos chamados programas de pesquisa, que ficou conhecida pela rubrica de Reconstrução Racional. Em meados de 1960, portanto, uma reação explícita ao Positivismo Lógico, chamada de A Nova Filosofia da Ciência, conseguiu se tornar majoritária (VIDEIRA, 2007).

Porém, de acordo com Videira (2007), Lakatos não obteve muito sucesso devido à forte penetração das ideias de Alexandre Koyré, que era filósofo de formação e não entendia a História da Ciência como um “laboratório”, permitindo o “teste” de teses e ideias da Filosofia da Ciência e acabou defendendo a autonomia da História da Ciência em relação à Filosofia. No terceiro e último estágio, a partir do início da década de 1970, a ciência é compreendida como sendo uma instituição sociológica configurada por restrições contingentes, vinculadas a agentes específicos e a práticas locais (VIDEIRA, 2007).

Dessa forma, além do que foi discutido, também cabe destacar a utilização da historiografia como metodologia, pois a historiografia trata do “acúmulo de trabalho” já produzido pelos historiadores e pesquisadores utilizados nesta disciplina, bem como a reflexão mais sistemática sobre este trabalho, e isto implica, necessariamente, a contribuição de questões de teoria e metodologia, uma vez que todo pesquisador, na produção de seus trabalhos e investigações historiográficas, o faz a partir de teoria e métodos. Por outro lado, Historiografia traz exemplos importantes para o estudo da “Teoria da História” ou para o ensino da “Metodologia da História” (FILHO, 2016).

Nesse sentido, referimo-nos ao fato de que os estudos históricos também podem ser focados não apenas nos fenômenos do passado. É importante e viável realizar pesquisas sobre o tempo atual, considerando os aspectos teóricos e metodológicos da pesquisa histórica. Portanto, a visão de HC, baseada nos *paradigmas* de Thomas Kuhn, e a “nova historiografia da Ciência” serão consideradas para a análise dos livros didáticos no presente trabalho.

1.3 O Livro didático e a História da Ciência no Ensino de Química

O Ministério da Educação (MEC) tem procurado um aprimoramento e melhoria da qualidade dos livros didáticos por meio do processo de avaliação e distribuição dos mesmos através do PNLD – Programa Nacional do Livro Didático, desde 1994, além do Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLEM) em 2009. O guia PNLD 2018 destaca que:

o processo de avaliação das obras submetidas ao Edital do PNLD 2018 foi organizado considerando as contribuições do ensino de Química para a inclusão social, cujos pressupostos teórico-metodológicos têm como foco o processo de educar cientificamente (BRASIL, 2017, p. 9)

Espera-se, como resultado, a produção de livros que contemplem aspectos científicos, metodológicos, pedagógicos e éticos, e que seja possível evitar equívocos de ordem conceitual, porém, é importante que os professores não utilizem o livro didático como única fonte de pesquisa para a realização de seu trabalho (SIGANSKI; FRISON; BOFF, 2008).

Em relação ao LDQ (Livro Didático de Química), este vem sofrendo mudanças em sua abordagem pedagógica desde a reforma de Francisco Campos, em 1931, considerada um grande marco para que esse passasse a atender às demandas curriculares do ensino naquela época, contribuindo assim para sua evolução no que se refere ao processo de ensino e aprendizagem (COSTA; FIELD'S, 2016; PORTO, 2010).

O PNLD é o mais antigo dos programas voltados à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública de ensino brasileira, surgindo com outra denominação, em 1937, sendo o Decreto-Lei nº93 que criou o Instituto Nacional do Livro. Ao longo desses anos, o programa foi aperfeiçoado e possuiu diferentes nomes e formas de execução. Atualmente, o PNLD é voltado à educação básica brasileira, tendo os alunos da educação infantil como única exceção. O objetivo geral do PNLD foi mudar o acesso ao livro didático, contemplando todas as escolas estaduais.

No Brasil, em 1938, foi criada a Legislação do Livro Didático pelo Decreto-Lei 1006, quando, de fato, iniciou-se a preocupação com os livros didáticos, um período no qual o livro era considerado uma ferramenta da educação política e ideológica, momento em que o Estado era caracterizado como censor no uso desse material didático e, dessa forma, o livro didático acompanhou o desenvolvimento do processo de escolarização do país (SIGANSKI; FRISON; BOFF, 2008).

Livro Didático (LD) é um recurso pedagógico que visa à orientação das sequências didáticas e os conteúdos a serem ministrados em sala de aula pelos professores. Intencionalmente estruturado, pode ser utilizado com o objetivo de melhorar o processo de aprendizagem e sua seleção constitui uma tarefa muito importante, pois ele é uma ferramenta essencial no processo educacional, sendo o principal e, muitas vezes, o único material utilizado na prática de professores na Educação Básica (MAIA et al., 2011).

Além disso, de acordo com Maia et al. (2011), o LD é importante por seu aspecto político e cultural, na medida em que reproduz os valores da sociedade em relação à sua visão da Ciência, da História, da interpretação dos fatos e do próprio processo de transmissão do conhecimento, o que torna necessário, por parte do professor, a profunda reflexão diante de questões relacionadas à escolha e utilização do LD. Para De Deo e Duarte (2004, p. 4):

Com relação à escolha do LD, não é suficiente ter um bom material se o professor não tiver consciência da prática pedagógica e das limitações do LD. O professor deve estar atualizado, ser reflexivo e bem preparado para poder valer-se de um livro ruim e transformá-lo, tornando-o uma ferramenta útil e eficaz em suas aulas.

O livro didático pode ser considerado um produto não neutro e, por ser uma produção do ser humano, está sujeito às limitações filosóficas, ideológicas e culturais dos autores que os produzem, sendo assim, Siganski, Frison e Boff (2008) ressaltam que a sua escolha deve ser cuidadosa. Cabe ao professor selecionar criticamente o livro didático a ser adotado, prevalecendo, na escolha, a qualidade e a utilidade, tendo como objetivo adequá-lo ao contexto socioeconômico e cultural do educando, a fim de obter o máximo rendimento possível no aprendizado.

Muitos professores tornam-se dependentes desse material, a ponto de perderem sua autonomia e senso crítico, ou seja, o professor despreparado também não identifica as falhas e limitações presentes nos LD. Isso reforça a necessidade de investimentos na formação dos professores, uma vez que é fundamental reconhecer as funções pedagógicas que o livro didático pode desempenhar. Krasilchik (2004, p. 184) assume postura crítica diante dessa situação:

O docente, por falta de autoconfiança, de preparo, ou por comodismo, restringe-se a apresentar aos alunos, com o mínimo de modificações, o material previamente elaborado por autores que são aceitos como autoridades. Apoiado em material planejado por outros e produzido industrialmente, o professor abre mão de sua autonomia e liberdade, tornando-se simplesmente um técnico.

Portanto, deve-se tomar cuidados com relação a esse tipo de atitude que os professores tomam de forma “inconsciente”, por não confiarem em si mesmos, somente reproduzindo conteúdos tecnicamente. Costa, Lima e Santos (2015) destacam que os LD, além de serem um

instrumento de apoio ao trabalho do professor, podem ser considerados importantes meios de pesquisa, estudo e leitura para os alunos, o que torna indispensável que a escolha dos mesmos seja realizada de forma criteriosa pelos professores. Essa, segundo Costa, Lima e Santos (2015), deve ser pautada na coerência e na adequação da abordagem teórico metodológica, no conjunto de conhecimentos e habilidades voltadas à compreensão do mundo material nas suas diferentes dimensões, constituindo uma tarefa de grande importância para uma boa aprendizagem dos alunos.

Entre os critérios que devem ser analisados, o MEC (BRASIL, 2012) destaca: Imagens presentes no livro didático; Linguagem e rigor científico; Atividades experimentais propostas; Evolução histórica do conteúdo; Contextualização do conteúdo; Abordagem metodológica do conteúdo; Relacionamento do conteúdo com o desenvolvimento tecnológico; Aspectos inerentes aos exercícios e problemas que são disponibilizados (COSTA; LIMA; SANTOS, 2015).

Além dos critérios destacados pelo MEC, um dos critérios estabelecidos pela comissão avaliadora para que o LDQ seja aprovado é que este aborde a contextualização, a experimentação e a História da Ciência (PNLD, 2015). Visando à qualidade do aprendizado no Ensino de Química, a contextualização tem sido uma das propostas para tornar o estudo mais atraente.

De acordo com Milaré, Richetti e Filho (2009, p. 167), “a inclusão de temas cotidianos no ensino de química evita o despejo maciço de conteúdos e a necessidade de modernização de conceitos e fórmulas, que caracterizam o ensino tradicional”. A contextualização desperta a curiosidade do estudante pelo conteúdo a ser abordado, o que acarreta o interesse intrínseco em aprender, relacionando os conceitos com aspectos que focalizem a cidadania, envolvendo a participação do mesmo durante as aulas e objetivando as problematizações do cotidiano (FREITAS; COSTA, 2017).

Siganski, Frison e Boff (2008) salientam que os livros didáticos, em geral, apresentam uma ciência descontextualizada, separada da vida cotidiana e da sociedade, e idealizam o método científico como um conjunto de regras fixas para encontrar a verdade. Para os autores, muitas vezes, ele passa a assumir o papel de currículo e de definidor das estratégias de ensino, interferindo de modo significativo nos processos de desenvolvimento dos conteúdos em sala de aula justamente por ser a única referência para o trabalho do professor. Nesse sentido, as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006, p. 105) chamam atenção ao fato de que:

[...] as práticas curriculares de ensino em Ciências Naturais são ainda marcadas pela tendência de manutenção do “conteúdismo” típico de uma relação de ensino tipo “transmissão – recepção”, limitada à reprodução restrita do “saber de posse do professor”, que “repassa” os conteúdos enciclopédicos ao aluno. Esse, tantas vezes considerado tábula rasa ou detentor de concepções que precisam ser substituídas pelas “verdades” químico-científicas.

A tendência destacada pode ser caracterizada como uma “educação bancária”, na qual o aluno não participa ativamente das aulas, tendo o professor como protagonista no processo de ensino, que apenas deposita conhecimento de forma conteudista. A preocupação consiste em preencher a cabeça dos educandos com conhecimentos, sem levar em conta aquilo que eles realmente precisam aprender. É oportuno que o educador procure inteirar-se sobre a realidade dos alunos com fins de instigá-los ao conhecimento.

De acordo com Freire (1996, p. 47), “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou construção”. Dessa maneira, é essencial a contextualização para promover uma educação mais libertadora, na qual os educandos possam participar ativamente das aulas, a partir de mecanismos que lhes chamem atenção, possibilitando a expansão da sua capacidade intelectual de forma significativa (FREITAS; COSTA, 2017).

Devido à larga utilização dos livros didáticos como fontes de consulta por boa parte dos professores, é razoável supor que eles irão consultar os livros didáticos em busca de informações sobre História da Ciência. Para possibilitar que esta, efetivamente, contribua para o processo de aprendizagem da ciência, Vidal e Porto (2012) destacam que o professor precisará dispor de fontes para consulta que sejam coerentes com seus propósitos a fim de auxiliá-lo no processo de ensino, ou seja, recorrer apenas aos livros didáticos não seria coerente (VIDAL; PORTO, 2012).

O conteúdo histórico e filosófico e as consequentes visões sobre a natureza da ciência transmitidos pelos livros didáticos provavelmente moldarão a ciência do ensino, já que aspectos histórico-filosóficos contribuem para promover o ensino da ciência contextual, no entanto, sua ausência ou mesmo sua deturpação gera visões distorcidas sobre a natureza da ciência (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

A grande maioria dos livros didáticos inclui algum conteúdo histórico reduzido na forma de datas, nomes e cronogramas, e abordagens como essa têm uma forte influência do “whiggismo”, produzindo muito mais narrativas pseudo-históricas do que transposições de bons estudos históricos (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Tais abordagens da Ciência reforçam os mitos científicos populares disseminados no imaginário de estudantes e professores, fazendo muitas vezes com que os mesmos transmitam equívocos comuns sobre a natureza da ciência. De fato, o efeito de incluir a História da Ciência na educação científica depende principalmente de qual História da Ciência é usada e como ela é usada. Normalmente, os professores não têm formação inicial sobre História e Filosofia da Ciência. Portanto, seu próprio desenvolvimento profissional e prática de ensino nesse campo dependem muito dos relatos da ciência veiculados nos livros didáticos (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Do ponto de vista acadêmico, o conhecimento presente nos livros didáticos é fragmentado, uma vez que os escritores de livros didáticos escolhem e incluem apenas alguns aspectos de um campo mais amplo de conhecimento. O conteúdo histórico é apresentado em caixas destacadas das partes do texto onde o conteúdo científico é apresentado. Nessas caixas, eventos isolados, datas, nomes e cronogramas são apontados como "fatos" históricos. Na maioria dos casos, um estilo narrativo anedótico é preferido. Além disso, os historiadores da ciência raramente são consultados no processo de desenvolvimento de currículos ou por autores de livros didáticos, que geralmente são professores (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

No caso da implementação da HFC, os LD desempenham um papel ainda mais importante porque devem transmitir conteúdo histórico e filosófico, bem como atividades e métodos que ajudem a superar a cultura atual do ensino. De acordo com Höttecke e Silva (2011), os professores tendem a ignorar conteúdos inovadores com os quais não estão familiarizados e que exigem habilidades especiais de ensino que não possuem.

Ternes, Scheid e Güllich (2009) apontam que a Pseudo-história da Ciência (aquela que muitas vezes possui presença de romantismo, descobertas por insight, a interpretação sem problematização dos experimentos, a presença apenas de experimentos cruciais, a exclusão total de erros dos cientistas, dentre outras) encontrada no LD, contribui para a falsificação da História da Ciência, uma vez que não aborda os aspectos sociais da ciência e as controvérsias envolvidas no processo de produção do conhecimento científico, preocupando-se somente com a fácil compreensão do assunto. Além disso, os autores de livros didáticos, ao exporem tópicos históricos, muitas vezes partem de informações errôneas ao descrever os conceitos, o que, por vezes, advém do desconhecimento da obra original (TERNES; SCHEID; GÜLLICH, 2009).

Devido a esses equívocos, os professores não conseguem promover o ensino adequado utilizando a HFC, que poderia contribuir de forma positiva, complementando o ensino comum, como destaca Martins (2006, p. 17):

A História da Ciência não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas, sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade.

Por exemplo, o LD geralmente aborda que o cientista produz hipóteses e projeta experimentos para testá-las, sendo que, à luz dos resultados dessas experiências, são revisadas ou descartadas, e ainda que ele aplica os cânones da lógica formal a seus sistemas, mas essa é uma maneira monótona e sem imaginação de descrever suas atividades. Independentemente do que os livros didáticos possam implicar, não existe um método científico - e se houvesse um, qualquer estudante que se preze não deveria se contentar em segui-lo mecanicamente como uma mera engrenagem em uma máquina enorme e poderia ser substituído à vontade por outro cientista sem qualquer mudança perceptível (KAUFFMAN, 1989).

Dessa maneira, a pesquisa proposta escolheu analisar os LDQ do PNLD (2018-2020), destacando os principais pontos que os professores devem tomar cuidado ao utilizar a HFC apresentada nestes, em específico com Robert Boyle, para que tanto professores quanto os alunos não desenvolvam visões distorcidas sobre a natureza da ciência. Logo, o conhecimento de HC pode dar ao aluno uma sensação de movimento, progresso e mudança contínua inerente à Ciência. Sem a História, o estudante está apto a considerar a Química em seu texto como um produto acabado, imutável. Ele aprende que a Química é uma estrutura dinâmica e não estática, com as teorias de hoje sendo apenas a ponta de uma trilha do passado que se estende indefinidamente para o futuro.

Portanto, itens bem escolhidos e pertinentes da HFC, cuidadosamente introduzidos em nossas aulas, muitas vezes serão lembrados pelos alunos depois de terem esquecido os detalhes técnicos.

2 QUESTÃO DE PESQUISA

Robert Boyle (1627-91) foi o principal exemplar da filosofia experimental, defendida pela Royal Society, em seus anos de formação. Em toda uma série de livros nos quais dados experimentais e experienciais foram cuidadosamente expostos, Boyle procurou justificar uma visão mecanicista da natureza em detrimento das teorias rivais, notadamente a cosmovisão associada ao escolasticismo aristotélico.

Os livros didáticos de Química escolhidos no PNLD (2018-2020) não apresentam o Boyle de forma a mostrar suas contribuições para o desenvolvimento da Ciência e da Química. Nessa perspectiva, quais seriam os fatos e as características que os livros deveriam trazer sobre a História da Ciência para apresentar o Boyle de uma maneira mais próxima da realidade para sustentar sua importância?

2.1 OBJETIVOS

Geral:

1. Analisar, nos Livros didáticos de Química, do PNLD (2018-2020), como vêm sendo apresentadas as contribuições de Robert Boyle.

Específicos:

1. Elaborar um texto histórico sobre Robert Boyle, que dará apoio à análise do LDQ.
2. Analisar as visões sobre Ciência que podem ser construídas a partir da leitura do LDQ.
3. Analisar como aparece a história de Robert Boyle no LDQ.
4. Sugerir modificações do LDQ para evitar a construção de visões distorcidas acerca da Natureza da Ciência sobre Robert Boyle.

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa Qualitativa

Segundo Minayo (2012), fazer ciência é trabalhar simultaneamente com teoria, método e técnicas, e esse tripé deve se condicionar mutuamente: o modo como fazemos depende do que o objeto demanda, e a resposta ao objeto depende das perguntas, dos instrumentos e das estratégias utilizadas na coleta dos dados. As informações essenciais que servem de base para um raciocínio e discussão da análise qualitativa são apresentadas por Minayo (2012), que serão descritos a seguir.

Primeiro, deve-se conhecer os termos estruturantes das pesquisas qualitativas. A principal matéria-prima é composta por um conjunto de substantivos que se complementam, são eles: experiência, vivência, senso comum e ação. E o movimento que informa qualquer análise baseia-se em três verbos: compreender, interpretar e dialetizar. O verbo mais importante da análise qualitativa é compreender. Compreender é exercer a capacidade de colocar-se no lugar do outro, e temos condições de exercitar esse entendimento (MINAYO, 2012).

Um ato contínuo que sucede à compreensão e está presente nela é a interpretação: toda compreensão possui em si uma possível interpretação. Interpretar é elaborar as possibilidades projetadas pelo que é compreendido. Precisamos definir o objeto sob a forma de uma pergunta problematizadora e teorizá-lo. A indagação inicial norteia o investigador durante todo o percurso de seu trabalho. Qualquer investigação nada mais é do que a busca para responder à indagação inicial. É preciso investir no conhecimento acumulado, dialogando com ele ou em torno dele, para tornar o objeto um construto científico. O investigador deve escolher o marco teórico que vai adotar, detalhando os conceitos, as categorias e as noções que fazem sentido para sua pesquisa (MINAYO, 2012).

Deve-se delinear as estratégias de campo para ter em mente que os instrumentos operacionais que também contêm bases teóricas são constituídos de sentenças (no caso dos roteiros) ou orientações (no caso da observação de campo), que guardam estreita relação com o marco teórico, sendo cada um desses elementos um tipo de conceito operativo, pensado na teorização inicial (MINAYO, 2012).

O percurso analítico e sistemático, portanto, tem o sentido de tornar possível a objetivação de um tipo de conhecimento que tem como matéria-prima opiniões, crenças, valores, representações, relações e ações humanas e sociais sob a perspectiva dos atores em intersubjetividade. Dessa forma, a análise qualitativa de um objeto de investigação concretiza

a possibilidade de construção de conhecimento e possui todos os requisitos e instrumentos para ser considerada e valorizada como um construto científico (MINAYO, 2012).

A pesquisa descrita aqui se configura como uma pesquisa qualitativa descritiva. Buscar-se-á identificar na historiografia, desde o período pré-socrático até o final do Renascimento, elementos importantes que influenciaram e contribuíram para a construção das ideias de Robert Boyle como cientista, além de destacar suas ideias, experiências e contribuições para o avanço da Química.

Para tanto, lançaremos mão de duas propostas de pesquisa, a documental e a bibliográfica, em dois momentos diferentes deste trabalho. Para construir um texto histórico do período a ser estudado serão utilizadas as técnicas da pesquisa bibliográfica e para a análise dos livros didáticos, a análise documental. A análise dos livros didáticos foi baseada nas visões distorcidas sobre a Natureza da Ciência apresentadas por Gil-Pérez (2001), observando quais dessas visões estão presentes nos LDQ e como as mesmas podem ser desconstruídas a partir do texto histórico, elaborado sobre Robert Boyle nesse trabalho.

A partir da análise documental feita nos livros, serão destacados os trechos onde tais visões aparecem e, em seguida, quais pontos do texto histórico podem ser utilizados para melhorar tal visão distorcida. Assim, discutimos, a seguir, as características dessas propostas indicando aproximações e distanciamentos entre elas.

3.2 Análise Documental e Bibliográfica

É primordial, em todas as etapas de uma análise documental, que se avalie o contexto histórico no qual foi produzido o documento, o universo sócio-político do autor e daqueles a quem foi destinado, seja qual tenha sido a época em que o texto foi escrito (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

Tanto a pesquisa documental como a pesquisa bibliográfica têm o documento como objeto de investigação, documentos são utilizados como fontes de informações, indicações e esclarecimentos que trazem seu conteúdo para elucidar determinadas questões e servir de prova para outras, de acordo com o interesse do pesquisador (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

A análise documental favorece a observação do processo de maturação ou de evolução de indivíduos, grupos, conceitos, conhecimentos, comportamentos, mentalidades, práticas, entre outros. A pesquisa documental é um procedimento que se utiliza de métodos e técnicas para a apreensão, compreensão e análise de documentos dos mais variados tipos (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

Esse tipo de abordagem é muito próximo da pesquisa bibliográfica. O elemento diferenciador está na natureza das fontes: a pesquisa bibliográfica remete para as contribuições de diferentes autores sobre o tema, atentando para as fontes secundárias, enquanto a pesquisa documental recorre a materiais que ainda não receberam tratamento analítico, ou seja, as fontes primárias. Essa é a principal diferença entre a pesquisa documental e pesquisa bibliográfica (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

Neste trabalho serão utilizadas as duas abordagens, pois temos o objetivo de identificar, além do referencial teórico da área da História e Historiografia da Ciência, elementos que possam permear os LDQ na Historiografia da Ciência, comparando pontos importantes e como são destacados no texto histórico elaborado nos LDQ.

May (2004) afirma que os documentos não existem isoladamente, mas precisam ser situados em uma estrutura teórica para que o seu conteúdo seja entendido. Feita a seleção e análise preliminar dos documentos, o pesquisador procederá à análise dos dados: “é o momento de reunir todas as partes – elementos da problemática ou do quadro teórico, contexto, autores, interesses, confiabilidade, natureza do texto, conceitos chave” (CELLARD, 2008, p. 303). Assim, o pesquisador poderá fornecer uma interpretação coerente, tendo em conta a temática ou o questionamento inicial.

A análise é desenvolvida por meio da discussão que os temas e os dados suscitam e inclui, geralmente, o corpus da pesquisa, as referências bibliográficas e o modelo teórico. No caso da análise de documentos, geralmente recorre-se à metodologia da análise do conteúdo (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

Por outro lado, a principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. A pesquisa bibliográfica também é indispensável nos estudos históricos. Em muitas situações não há outra maneira de conhecer os fatos passados, senão com base em dados bibliográficos (GIL, 2002). A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos (GIL, 2002).

Oliveira (2007 apud SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009) faz uma importante distinção entre essas modalidades de pesquisa. Para essa autora, a pesquisa bibliográfica é uma modalidade de estudo e análise de documentos de domínio científico tais como livros, periódicos, enciclopédias, ensaios críticos, dicionários e artigos científicos. Como característica diferenciadora, ela pontua que é um tipo de “estudo direto em fontes científicas, sem precisar recorrer diretamente aos fatos/fenômenos da realidade empírica” (p. 69) (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009).

A principal finalidade da pesquisa bibliográfica é proporcionar aos pesquisadores e pesquisadoras o contato direto com obras, artigos ou documentos que tratem do tema em estudo: “o mais importante para quem faz opção pela pesquisa bibliográfica é ter a certeza de que as fontes a serem pesquisadas já são reconhecidamente do domínio científico” (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009, p. 69).

Para elaborar o texto histórico de Robert Boyle, serão utilizadas fontes secundárias, pois elas podem ser de fácil acesso aos professores, o que não acontece com as fontes primárias. As fontes primárias, além de serem difíceis de acessar, requerem todo um tratamento prévio para se trabalhar, já que possuem uma linguagem diferente, requerem interpretações e, muitas vezes, os professores não conseguem trabalhar com elas por falta de formação. Além disso, muitos profissionais ficam desanimados ao se depararem com fontes que necessitam de um tempo maior para se trabalhar, preferindo um texto que já foi interpretado de maneira coerente e passível de uma leitura mais acessível.

Portanto, a pesquisa propõe-se a produzir um material, criando formas de compreender os períodos e como estes foram desenvolvidos ao decorrer da história, para basear a análise das visões sobre a Natureza da Ciência relacionada a Robert Boyle.

4 A INFLUÊNCIA DE ROBERT BOYLE NO DESENVOLVIMENTO DA QUÍMICA ATRAVÉS DE UM BREVE ESTUDO HISTORIOGRÁFICO

Na maioria das vezes, os livros didáticos distorcem a importância de cada personalidade científica no decorrer da História, omitindo contribuições ou enaltecendo alguns personagens. Podemos citar como exemplo de personalidade muito importante para a Química, cujas contribuições são “minimizadas” ou negligenciadas nos livros didáticos e nas salas de aula, Robert Boyle (1627 – 1691), um dos Químicos mais relevantes na HC.

Robert Boyle normalmente é associado à Lei de Boyle, ensinada durante o estudo dos gases. Porém, o mesmo contribuiu com o desenvolvimento da Química e, muito antes de postular essa lei, desenvolveu uma teoria corpuscular da matéria, apresentou uma base para a Química, que foi utilizada por Lavoisier, e definiu o termo “elemento” de uma forma mais próxima ao que conhecemos hoje, de forma diferente da concepção de Aristóteles. Criou também a bomba de vácuo que proporcionou estudos importantes sobre a matéria e, de certa forma, matematizou a “alquimia”, sustentando os conceitos por meio da experimentação e influenciando na formalização da Química como ciência. Na época, tínhamos a Alquimia, que por muitos anos foi considerada uma prática charlatã e sem fundamento científico.

Sendo assim, para entendermos qual foi o papel de Boyle na História da Ciência, realizamos um breve estudo historiográfico, analisando aspectos externalistas e internalistas para retratar a trajetória de Boyle, destacando quais foram os antecedentes que o influenciaram, suas contribuições, construções teóricas e seus principais experimentos. Diversas referências foram consultadas para o presente estudo, dentre os quais: Westfall (2001), Alfonso-Goldfarb (1987, 1994), Zaterka (2004, 2006), Kragh (2001), Debus (1965, 1971, 1977, 1993, 2002), Grant (2003), Henry (2002), Porto (1995, 1997, 2010), Martins (1989, 2005, 2006) e Shapin e Schaffer (2011).

Tais autores trazem diferentes aspectos que foram analisados para relatar da forma mais fiel possível o período de atuação de Boyle, compreendendo períodos anteriores e posteriores a ele, o que tornou necessário voltarmos à origem da alquimia, aos primeiros estudos atomistas e a episódios da Grécia antiga, Idade Média e Renascimento que influenciaram suas decisões e formação como filósofo natural.

4.1 A História da Química antecedente a Robert Boyle

A História da Ciência nos auxilia a tentar entender por que e como a ciência se tornou uma presença dominante em nossa cultura. Ao olhar para o desenvolvimento histórico do que pensamos como ciência, somos levados à busca de como o próprio conceito "ciência" surgiu. A Química, por exemplo, é uma ciência que estuda as transformações da matéria, fenômenos que ocorrem na natureza e a preocupação sobre a constituição do cosmo e a matéria que o forma. Essa preocupação é antiga, havendo registros sobre o assunto já entre os povos que habitavam a Mesopotâmia.

No entanto, as ideias que tiveram maior impacto sobre o desenvolvimento da ciência moderna estão ligadas aos filósofos gregos antigos. Dessa forma, para compreendermos a origem da Química Moderna, devemos retomar os estudos iniciais sobre a origem da matéria, entrando no período de pensamento dos pré-socráticos.

A reconstituição do pensamento pré-socrático é considerada uma tarefa muito difícil, pois as informações não chegaram até nós de forma direta, sendo que o que temos são fragmentos de suas doutrinas citados por filósofos posteriores como Aristóteles, Platão, e etc. (ZATERKA, 2006). Os pensamentos de Platão (426-348 a.C. aprox.) e Aristóteles (384-322 a.C.) foram posteriores aos pré-socráticos e serão discutidos posteriormente neste trabalho.

A teoria de Aristóteles foi uma das principais sobre a origem da matéria, porém a busca por princípios que pudessem fornecer a origem e uma ordem para a natureza foi uma tentativa feita por diversos filósofos da Antiguidade, o que levou à construção de uma explicação racional sobre essa ordem, origem e transformação do mundo. Assim, vários filósofos responderam à questão dos princípios com diferentes pensamentos.

Por exemplo, segundo Andery, Micheletto e Sérgio (1996), Tales de Mileto (625-548 a.C. aprox.) considerava que o “princípio material das coisas” era a água, pois acreditava que a maioria das coisas possuía a qualidade da “umidade”, concluindo que tudo que é vivo precisa de água, pois “as coisas mortas ressecam-se”. Zaterka (2006) destaca que é interessante Tales ter escolhido a água como princípio devido ao fato de ele ter sido um dos primeiros pensadores gregos a propor uma explicação racional para a origem e transformação dos fenômenos da natureza (ZATERKA, 2006; ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

Já Anaximandro de Mileto (610-547 a.C. aprox.), discípulo e sucessor de Tales, negava que a água poderia ser o princípio de todas as coisas, trazendo o termo *ápeiron* como princípio e elemento de todas as coisas, sendo entendido como aquilo que não possui limite, “sem fim”. Conforme Zaterka (2006), nem os quatro elementos nem suas qualidades poderiam ser

considerados princípios, pois já eram definidos e nada que fosse definido poderia ser um princípio. Para Anaximandro, o indeterminado e indefinido era o primordial, que poderia dar origem a tudo (ZATERKA, 2006; ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

Posteriormente, Anaxímenes de Mileto (585-528 a.C. aprox.) não concordou com seu mestre, Anaximandro. Criticou a ideia do ápeiron, pois, para ele, os homens só poderiam conhecer algo que possuía uma determinação. Acreditava que a natureza era definida e ilimitada, considerando a mesma como sendo “ar”, o qual ele chamou de *pneuma*, diferenciando-se nas substâncias por rarefação e condensação. Zaterka (2006) destaca que o ar não precisa de suporte, uma vez que sustenta a si mesmo, diferentemente da água, e possui a capacidade de penetrar em tudo, podendo, então, compor todos os corpos. Em síntese, o princípio seria o ar que “manifesta sua existência por meio do frio e do calor, da umidade e do movimento”, sendo percebido por meio de suas qualidades (frio, quente, seco ou úmido). Além disso, ele também notou que o ar era necessário para sobrevivência dos seres vivos (ZATERKA, 2006; ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

Esses três filósofos (Tales, Anaximandro e Anaxímenes) compuseram a Escola de Mileto e foram importantes para o rompimento com o mito, possibilitando o pensamento racional no estudo dos fenômenos naturais. Logo, “foram capazes de, partindo da observação dos fenômenos da natureza, elaborar conceitos ou ideias abstratas, construindo, assim, as marcas do primeiro momento de ruptura com o pensamento mítico.” (ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996, p. 39).

Além dos filósofos citados, também tivemos Pitágoras (580-497 a.C. aprox.) e os pitagóricos, que encontraram o número como princípio, em uma perspectiva muito diferente das apresentadas anteriormente, pois não era nem parte dos quatro elementos nem o ápeiron. Zaterka (2006) destaca que o número é entendido como o Ser e, portanto, possui uma existência real, dessa forma, pode ser compreendido como princípio que constitui os seres, ou seja, para os antigos pitagóricos, o número existe realmente na natureza e por isso pode ser um princípio constitutivo da matéria (ZATERKA, 2006; ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

Heráclito (540-470 a.C.) foi outro importante filósofo da Antiguidade que também trouxe sua perspectiva em relação ao princípio. Segundo Zaterka (2006), para ele, o mundo é entendido como um fluxo eterno, nada é estático, ou seja, só existe o fluxo, a mutabilidade e as transformações, identificando como princípio a existência de um fogo primordial que produz todas as coisas e as coloca em eterno movimento, o *Logos*. Andery, Micheletto e Sérgio (1996) destacam que Heráclito deu origem a uma nova maneira de conceber o universo e abordou problemas relativos ao processo de produção de conhecimento, tema central no

desenvolvimento do pensamento de Parmênides, que elaborou com um maior grau de abstração e complexidade o monismo dos pensadores da escola de Mileto, rejeitando o dualismo de Pitágoras (ZATERKA, 2006; ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

No ano de 494 a.C., a cidade de Mileto foi destruída pelos persas, fazendo com que se perdesse o centro intelectual, porém a ideologia continuou e conquistou espaço em Eleia com a figura de Parmênides (530-460 a.C. aprox.) que criticou Heráclito, pois acreditava que a filosofia de Heráclito teria sido postulada com base nos sentidos e sensações, considerada uma via da opinião e da ficção. Zaterka (2006, p. 336) destaca que:

A verdadeira filosofia não pode se basear na experiência do mundo sensível, ela só pode ser atingida pelo pensamento. E o intelecto puro só pode pensar aquilo que permanece idêntico a si mesmo. Assim, a mudança e as transformações, enfim, o mundo vir-a-ser são impensáveis e, portanto, irrealis.

Portanto, Parmênides distinguirá a via da opinião e da verdade em seu poema *Sobre a natureza*, trazendo a ideia de que a via da verdade só pode ser atingida pelo pensamento, ou seja, “só pensa o que é estável, uno, permanente e idêntico a si mesmo” (ZATERKA, 2006, p. 337).

Resumindo, para a via da verdade, o movimento e suas transformações não são, pois não podem ser pensados, falados e nem conhecidos, pois ao contrário de Heráclito, que afirmava que o real é sinônimo de mudança, para Parmênides o Ser exige estabilidade, permanência, identidade: “é necessário pensar e dizer isto: que o ente é, pois é ser; e que o nada não o é, pois é não ser” (ZATERKA, 2006, p. 337).

Conforme Andery, Micheletto e Sérgio (1996), o pensamento de Parmênides exerceu grande influência no pensamento grego posteriormente desenvolvido, pois se diferenciava e se opunha às concepções milesianas, pitagóricas e heraclitianas. O problema colocado sobre a contradição unidade-multiplicidade na concepção do Ser e suas decorrências para a produção de conhecimento passou a constituir objeto de reflexão indispensável para os pensadores que o sucederam, entre eles Zenão de Eleia (século V a.C.), considerado o iniciador da dialética¹ segundo Aristóteles (ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

Zenão procurava demonstrar a contradição inerente às noções de multiplicidade e de movimento, utilizando-se, para isso, da análise lógica: da aplicação do princípio da não-contradição, método utilizado para apresentar seu pensamento (partindo da aceitação da

¹ Segundo Jaeger (1986), "(...) o dialético é o homem que compreende a essência de cada coisa [a ideia], e sabe dar conta dela" (p. 473).

afirmação que acabaria por negar, após apresentar as contradições presentes nela) (ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

Andery, Micheletto e Sérgio também destacam (1996, p. 52) Anaxágoras de Clazômeas (século V a.C.) e Empédocles de Agrigento (século V a.C.) como exemplos de pensadores subsequentes que buscaram alternativas para superar a crise em que o conhecimento do sensível foi lançado, pois possuíam concepções que diferiam entre si, mas que se aproximavam pela igual peculiaridade e importância de suas doutrinas. Também se aproximam, segundo Andery, Micheletto e Sérgio (1996), pela tentativa de reafirmar a possibilidade de se reconhecer a pluralidade², sem com isso abrir mão do rigor lógico que deveria caracterizar o conhecimento. A teoria de Anaxágoras é descrita por Andery, Micheletto e Sérgio (1996, p. 52):

Anaxágoras reconhecia essa pluralidade nos próprios elementos constituintes do universo: esses elementos eram infinitos e cada um deles continha, em quantidades variadas, todos os opostos presentes no universo; um deles, mais puro que os demais e sempre idêntico - o *Nous*, o espírito - por meio de sua ação, impulsionava o movimento dos demais elementos, levando-os a se combinarem das mais diferentes formas, originando assim os fenômenos do mundo e suas transformações. Dessa forma, todas as coisas continham todas as coisas; "tudo contém uma parte de tudo", e todas eram igualmente divisíveis ao infinito.

Esses dois pensadores foram importantes para o período *arcaico* (séc. VII ao séc. VI a.C.). Anaxágoras³ foi um possível elo entre o desenvolvimento do pensamento iniciado sob o impulso da escola de Mileto e as diferentes concepções que marcaram o período *clássico* (séculos V e IV a.C.), já Empédocles⁴ foi a tentativa de incorporação de diferentes concepções elaboradas até esse momento, além de se tornar uma importante influência com sua proposição dos quatro elementos constituintes do universo (água, terra, fogo e ar), que ultrapassou o período grego (ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO, 1996).

²A escola pluralista é uma escola de filosofia composta por Anaxágoras, Empédocles e Demócrito. O denominador comum nas posturas filosóficas desses pensadores consiste em admitir que não há um princípio único que explique todo o universo, existem vários princípios que, misturando-se, formam a multiplicidade das coisas existentes, daí a denominação "pluralista".

³Anaxágoras propôs, assim como os pluralistas, um princípio que atendesse tanto às exigências teóricas do "ser" imutável, princípio de tudo, quanto à contestação da existência das múltiplas manifestações da realidade. Esse novo princípio, Anaxágoras chamou homeomerias, sementes que dão origem à realidade em sua pluralidade de manifestações.

⁴ Empédocles, ao propor quatro elementos constituintes do universo - a terra, o ar, a água e o fogo -, também afirmava a pluralidade. Esses elementos eram eternos, não continham início e nem fim, idênticos a si mesmos e, combinando-se, juntando-se ou separando-se, formavam a diversidade dos fenômenos do universo. A fonte propulsora dessa combinação estava em duas forças opostas: o Amor, que impulsionava a junção, e o ódio, que impulsionava a separação. Dessa forma, Empédocles justificava a multiplicidade, presente já no processo de constituição do universo, ao mesmo tempo em que caracterizava as "raízes" do universo de forma semelhante ao Ser de Parmênides.

Empédocles afirmava a pluralidade ao propor os quatro elementos como constituintes do universo, já que tais elementos eram eternos, idênticos a si mesmos, não tendo início ou fim, podiam se combinar ou se separar, formando a diversidade de fenômenos do universo. De acordo com Andery, Micheletto e Sério (1996, p. 53):

A fonte propulsora dessa combinação estava em duas forças opostas: o Amor, que impulsionava a junção, e o ódio, que impulsionava a separação. Dessa forma, Empédocles justificava a multiplicidade, presente já no processo de constituição do universo, ao mesmo tempo em que caracterizava as "raízes" do universo de forma semelhante ao Ser de Parmênides.

Zaterka (2006) destaca que o atomismo antigo foi influenciado pelos pensamentos pré-socráticos, pois, como para Parmênides existia uma única realidade, e para Heráclito o contrário, a realidade seria sinônima do movimento, somente por meio dos átomos seria possível a conciliação de duas doutrinas tão antagônicas. Dessa forma, para Leucipo e Demócrito, a natureza era constituída por átomos e vazio.

Nessa concepção, tanto os átomos como o vazio existem e os fenômenos naturais seriam nada mais nada menos do que as modificações desses princípios. O átomo, por definição, é algo indivisível, sendo concebido como partículas minúsculas, contínuos, eternos, imutáveis, infinitos em número e entre eles existe o vazio, onde os mesmos se movem. Os átomos não possuem diferenças qualitativas, mas quantitativas, sendo diferenciados por sua forma, tamanho e disposição. Segundo Zaterka (2006), assim como os átomos, seus movimentos também são eternos, sendo necessário tal movimento, pois, para Leucipo e Demócrito, nada do que existe na natureza é por acaso, mas ao contrário, tudo é necessário.

Os filósofos gregos Leucipo e Demócrito foram os primeiros a trazerem ideias a respeito dos átomos por volta do século V a.C., afirmam historiadores e filósofos. O que levou tais filósofos a proposição de um “modelo atômico” para a matéria, na tentativa de buscar um princípio que pudesse fornecer a origem e uma ordem para natureza, o que acaba levando à construção de uma explicação racional sobre a ordem, origem e transformação do mundo. Compreender o movimento e a mudança representaria as alterações observadas na natureza e entender o repouso, a identidade, seria compreender a estabilidade dos seres (ZATERKA, 2006).

Posteriormente, Epicuro (341-270 a.C.) segue a orientação de Demócrito, assumindo o atomismo de seu mestre, o qual acreditava que as diferentes qualidades que observamos nas coisas (odor, sabor, cor e etc.) decorriam sempre da diferença entre as formas dos átomos. De acordo com Epicuro, a matéria era inerentemente autocomprometida e todas as coisas poderiam ser explicadas em termos das consequências necessárias das colisões ao acaso entre os átomos

(HENRY, 2002). Um dos aspectos que diferenciava a ideia de Demócrito e Epicuro diz respeito à origem do cosmos, essa filosofia foi sintetizada por Lucrecio dois séculos depois da morte de Epicuro, (ZATERKA, 2006).

Portanto, Zaterka (2006) destaca que, por meio desta doutrina, os antigos atomistas, afirmando a existência de átomos movendo-se no vazio, conseguiram dar uma nova solução ao problema proposto pelos pré-socráticos, o que explicaria as transformações que observamos na natureza.

A discussão sobre a existência do vácuo (vazio) permeava desde a Grécia clássica, segundo Martins (1989), surgindo questões como: “É possível a existência de espaços vazios na natureza? Eles existem? Podem ser produzidos pelo homem?”, esses questionamentos são muito antigos, aos quais o homem moderno poderia responder de forma clara. Porém, para chegarmos a tais repostas, foram-se muitos anos, e aquele que conhece somente o resultado sem conhecer os motivos, ou o processo que levou a tais conclusões sobre o que conhecemos hoje, baseia-se somente na autoridade de livros-texto, sem conhecer a fundamentação desse conhecimento (MARTINS, 1989).

Martins (1989) afirma que os maiores defensores da existência do vácuo foram os antigos atomistas, que Platão⁵ (426-348 a.C. aprox.) e Aristóteles (384-322 a.C.) confrontaram por acreditarem que o Universo era totalmente preenchido por matéria. A cosmologia de Platão, segundo Alfonso-Goldfarb (1987), deu o grande passo rumo à solução do problema do movimento. No *Timeus*, ele oferece uma versão ampliada do “Bem” socrático⁶, transformando-o na teoria das “formas”.

Aristóteles, adotou o pensamento de Empédocles, pois acreditava que a matéria era formada por quatro elementos: água, terra, fogo e ar, e não por um só elemento. Porém, existiria sim um substrato único para toda a matéria, mas que seria impossível de isolar - serviria apenas como um suporte que transmite quatro qualidades primárias: quente, frio, seco e úmido. Dessa forma, as qualidades seriam combinadas duas a duas e, dependendo de quais fossem os elementos, teríamos uma combinação diferente. Se fosse a água, por exemplo, ela seria formada pelas qualidades fria e úmida, o fogo, quente e seco, e assim por diante. Quando a proporção das qualidades se modificava, a matéria se transformava (FREZZATTI JR., 2005).

⁵ Platão afirmou que os quatro elementos empedoclianos eram corpos e os relacionou com os poliedros regulares pitagóricos da seguinte maneira: fogo-tetraedro, terra-hexaedro (cubo), ar-octaedro e água-icosaedro. Ainda para Platão, o quinto poliedro regular pitagórico – o dodecaedro –, simbolizava o Universo como um todo. Era dualista (corpo e alma) e acreditava no mundo sensível e no mundo inteligível.

⁶O estudo da virtude se inicia com Sócrates, para quem a virtude é o fim da atividade humana e se identifica com o bem que convém à natureza humana.

De acordo com Frezzatti Jr. (2005, p. 140), o cosmo aristotélico era considerado heterogêneo, já que se dividia em supralunar (constituído por éter, ou quinta essência) e sublunar (constituído pelos quatro elementos):

O Cosmos aristotélico é heterogêneo porque há lugares com constituição e propriedades distintas de outros; por exemplo, qualquer ponto da Terra é constituído de terra, água, ar e fogo e se movimenta com trajetória retilínea, enquanto que as estrelas são compostas de éter e realizam movimento circular. É hierárquico porque tem direção em relação ao seu centro: acima e abaixo. Além disso, quanto mais acima um corpo se localiza, mais divino e mais puro é: o terreno é desvalorizado em relação ao celeste.

A presença de um “quinto” elemento, o éter, relaciona-se com a ideia de rejeição ao vácuo de Aristóteles. Em alguns pré-socráticos, podemos encontrar a discussão sobre a existência do vácuo, sejam atomistas ou eleastas⁷. Os atomistas acreditavam na multiplicidade e no movimento, e a existência do vazio era pensada como uma condição para o movimento, já os eleastas, afirmavam a unidade e negavam o movimento (MARTINS, 1989).

Aristóteles foi o primeiro a discutir a questão de forma sistemática. Segundo Martins (1989, p. 11), é feita uma análise que pode ser dividida em três partes:

Ele examina o conceito de espaço e tenta estabelecer que a própria concepção de um espaço vazio é impossível;
 Examina os argumentos dos atomistas e procura mostrar que todos os fenômenos por eles utilizados para estabelecer a existência do vácuo são explicáveis sem a hipótese do vácuo;
 Apresenta novos argumentos nos quais tenta mostrar que certos aspectos do movimento se tornariam incompreensíveis ou levariam a absurdos se fosse admitida a existência do espaço vazio.

Além disso, Aristóteles também discute argumentos referentes ao “peso” e “leveza” dos corpos e até mesmo “densidade”, pois os atomistas acreditavam que os corpos possuíam diferentes densidades por terem diferentes quantidades de espaços vazios em seu interior (MARTINS, 1989).

Mesmo com a argumentação e a importância que Aristóteles possuía, muitos pensadores continuaram a defender a existência do vácuo, dentre eles o atomista Lucrecio, o qual, conforme Martins (1989, p. 16), argumenta a favor do vácuo da seguinte maneira:

Se não houvesse espaço vazio, as coisas não se moveriam, pois estariam bloqueadas por todos os lados; porém, elas se movem; logo, existem espaços vazios. Mesmo em coisas que parecem sólidas e cheias existem vazios, pois a água atravessa a rocha das cavernas, o alimento se distribui pelo corpo dos animais e plantas, a voz atravessa paredes, o frio penetra o corpo até os ossos – e nada disso poderia ocorrer sem a existência de vazios. Existem coisas de diferentes pesos, apesar de ocuparem o mesmo espaço; isso indica que algumas são mais vazias do que outras.

⁷ Filósofos da escola de Eleia.

Tais argumentos não fazem Lucrecio provar a existência do vácuo, pois estes já eram conhecidos e Lucrecio acaba não discutindo os argumentos opostos de Aristóteles. Posteriormente, Lucrecio aponta como produzir um espaço vazio (MARTINS,1989).

Lucrecio, baseado na filosofia epicurista, afirma que tudo o que existe na natureza são átomos e espaço vazio, sendo espaço vazio o local onde os átomos se movimentavam, o que leva o mesmo a explicar o mecanismo da natureza por meio de uma teoria do choque presente em sua obra *De rerum natura*, a qual auxiliou no ressurgimento do atomismo na Renascença (ZATERKA, 2006).

Outro defensor da existência do vácuo foi Heron de Alexandria, que possuía argumentos empíricos e sua defesa aproximava-se da visão moderna, pois considerava a possibilidade de rarefação e compressão do ar, conceitos que eram de difícil compreensão caso não considerassem a ideia de vácuo.

De acordo com Martins (1989), as discussões sobre a existência do vácuo não ocorreram somente na Antiguidade, durante a Idade Média, o estudo das obras de Aristóteles trouxe à tona tais discussões⁸.

Devido à grande influência das obras de Aristóteles, o atomismo perdeu sua força, o que resultou no desenvolvimento de outra teoria, desenvolvida durante a Idade Média e o Renascimento, chamada de *mínima naturalia* que, ao contrário do atomismo antigo (que operava somente com as propriedades quantitativas e geométrica dos átomos), afirmava que as partículas mínimas teriam as propriedades qualitativas que observamos nos corpos. (VIANA, 2007; ZATERKA, 2006).

A influência dessas obras chegou até Alexandria, fundada em 331 a. C., após Alexandre Magno conquistar o Egito. As ideias divulgadas por Aristóteles, em diversos campos do conhecimento, foram aceitas e respeitadas durante muito tempo. Dessa forma, a indagação da natureza pelos filósofos gregos, influências do Oriente e as tradições como técnicas (mumificação, tintas e corantes, medicamentos) do Egito se fundiram, dando origem a uma nova forma de pensar e trabalhar experimentalmente, o que podemos chamar de Alquimia (TAVARES, 2010; FILGUEIRAS, 2002).

⁸Por exemplo, entre os árabes, Avicena (século XI) traz uma discussão sobre o tema, defendendo a ideia de que o vácuo não poderia existir, por meio de evidências empíricas. Além de Avicena, Jean Buridan (século XIV) também apresenta uma negação ao vazio a partir de experiências, porém, na mesma época, Nicholas de Autrecourt defendia a existência do vácuo no interior dos corpos a partir de um tratado o qual discutia a relação entre o movimento e a existência de espaços vazios.

Segundo Tavares (2010), o movimento alquímico acreditava que dois corpos poderiam se diferenciar a partir de suas propriedades externas (as qualidades), pois reconheciam a concepção de substrato único da matéria de Aristóteles. Portanto, um corpo poderia se transformar em outro a partir do trabalho sobre as quatro qualidades da matéria. Logo, um dos principais interesses dos alquimistas era transformar a matéria, principalmente na tentativa de transformar metais sem valor econômico em ouro, o que ficou conhecido como transmutação. Em busca de tal perspectiva, os alquimistas realizavam uma vasta quantidade de transformações químicas em torno das substâncias e dos materiais (TAVARES, 2010; PORTO, 2013).

Conforme Forbes (1953), a maioria dos historiadores concordam que a alquimia nasceu no Egito, e isso está de acordo com a tradição grega, que atribuía uma época de sabedoria sobre-humana a tudo o que era egípcio. No Egito, a palavra *Khem* foi usada em referência à fertilidade das planícies de inundação ao redor do Nilo. As crenças egípcias na vida após a morte e os procedimentos de mumificação desenvolvidos por eles, provavelmente, deram origem a um conhecimento químico rudimentar e a um objetivo de imortalidade. Certamente, os documentos mais antigos sobre alquimia nos mostram uma escola egípcia de alquimistas florescendo nas sombras da grande Academia de Alexandria nos tempos helenísticos do século I d.C. em diante (READ, 1995; FORBES, 1953).

Por volta de 332 a.C., Alexandre, o Grande, havia conquistado o Egito. Os filósofos gregos interessaram-se pelos caminhos egípcios. As visões gregas de como a matéria é composta pelos quatro elementos da natureza se fundiram com a ciência sagrada egípcia. O resultado foi *Khemia*, a palavra grega para o Egito. Quando o Egito foi ocupado pelos árabes no século VII, eles acrescentaram 'al' à palavra *Khemia* formando, assim, o vocábulo *al-Khemia*, o que significa que “a Terra Negra” agora é vista como uma possível origem para a palavra alquimia (READ, 1995; FORBES, 1953).

De acordo com Debus (1977), enquanto nós sempre apontamos para um interesse especial no estudo da matéria e suas mudanças - especialmente a transmutação -, há outros temas que também ocorrem com frequência. Um deles é a crença arraigada de que a alquimia tinha um papel especial a desempenhar na medicina, tanto na farmácia quanto na busca mais esotérica de prolongar a vida humana. Não menos importante, foi a persistente convicção de que o estudo alquímico era fundamental para uma verdadeira compreensão da natureza por causa de sua dependência da observação e da experiência, e não da lógica e do argumento (DEBUS, 1977).

O alquimista acreditava em uma natureza unificada e expressava essa crença com mais frequência por meio da analogia macrocosmo-microcosmo, na qual o macrocosmo seria mundo,

que é como um grande organismo, enquanto que o homem é um pequeno mundo, microcosmo. Havia uma pequena dúvida em sua mente de que a conexão direta do homem com o mundo maior lhe permitiria - através de seu estudo - alcançar um conhecimento mais profundo do Criador (DEBUS, 1977).

Não existe uma fonte única para essas crenças, mas há um consenso geral de que a busca pelas origens da alquimia deve ser conduzida não apenas em obras filosóficas, mas também em textos sobreviventes que ilustram as tradições práticas da antiguidade. Debus (1977) destaca que as mais antigas obras de metalúrgicos combinam uma ênfase na chance da aparição do metal com a aceitação da visão vitalista da natureza - uma visão que incluía a crença de que os metais vivem e crescem do feto humano. A alquimia alexandrina, por exemplo, baseava-se na filosofia grega e na tradição prática dos metalúrgicos. Alfonso-Goldfarb (1987, p. 45) afirma que a metalurgia é considerada como um dos marcos de passagem da humanidade para uma nova era. Para o homem da época metalúrgica, a “mãe terra” guarda em seu ventre os embriões metálicos, os quais, como “sementes”, vão se desenvolver e se transformar. Segundo M. Eliade (apud ALFONSO-GOLDFARB, 1987, p. 50):

A alquimia propunha-se acelerar o crescimento dos metais... Todos os minerais, deixados em repouso em suas matrizes tectônicas, teriam acabado tornando-se ouro, mas após centenas ou milhares de séculos. Da mesma forma como o metalurgista transforma os *embriões* (minerais) em metais, acelerando o crescimento iniciado pela Mãe Terra, o alquimista sonha aumentar esta aceleração, coroando-a com a transmutação final de todos os metais *comuns* no metal nobre, que é o ouro.

Era para se tornar básico para o pensamento alquímico que o operador poderia acelerar o processo natural de crescimento metálico em seu laboratório e, assim, trazer a perfeição em muito menos tempo do que o requerido pela natureza (ALFONSO-GOLDFARB, 1987; DEBUS, 1977).

As primeiras comparações entre homem e natureza, encontradas nos pré-socráticos e no *Timeu* de Platão, fomentaram o interesse pelo macrocosmo e o microcosmo, enquanto os sistemas de seres intermediários e o *pneuma* eram empregados pelos estoicos, pelos neoplatonistas e outras seitas filosóficas na antiguidade para fornecer pontos de ligação entre os dois mundos. A doutrina dos dois mundos continuou a desempenhar um papel significativo até meados do século XVII, enquanto o *pneuma* tinha alguma semelhança com as visões do século XVII sobre o niter aéreo, ou salitre.

Também importante para o desenvolvimento do pensamento alquímico foi o problema da Criação. Os filósofos interessados na Criação e na natureza foram inevitavelmente atraídos para a questão da origem dos elementos e a possibilidade de uma *prima materia*. Os pontos de

vista dos pré-socráticos sobre a matéria prima seriam o trampolim a partir do qual os autores posteriores lançaram seus próprios conceitos. Assim, Aristóteles, convenientemente, resumiu as visões de seus antecessores antes de refutá-las em sua *Metafísica*. Inerente em seu próprio pensamento estava a necessidade de matéria e forma. Aceitando os quatro elementos de Empédocles (terra, ar, água, fogo), ele postulou sua origem na *prima materia* pelo emparelhamento de qualidades (úmido, seco, quente, frio). E, uma vez que as qualidades emparelhadas pudessem ser alteradas, parecia teoricamente possível que os alquimistas posteriores transmutassem uma substância em outra (DEBUS, 1977). A alquimia alexandrina também é caracterizada pelos escritos de Zóximo (século IV d.C.), que acreditava que seria possível transformar os metais em ouro (por sua morte e ressurreição). Tavares (2010, p. 53) destaca:

Para alcançar essa meta, menciona a existência de uma substância (existindo nomes que a designam como tintura, elixir e, posteriormente, pedra filosofal) que permitiria a transmutação dos metais vis ou doentes em ouro (identificado nesse momento por sua cor brilhante).

A tradução de textos gregos estendeu a alquimia até os árabes, que acabaram melhorando os métodos e processos feitos na época, por volta do século VIII. A produção de ligas metálicas, tinturarias e vidrarias sofreram aprimoramentos, o que levou as reações químicas a serem processadas com melhores resultados (BENSAUDE-VINCENT, STENGERS, 1992).

A alquimia islâmica é caracterizada tanto pelos elementos práticos quanto pelos elementos místicos vistos nos textos gregos anteriores. Há um aviso frequente de que a informação que está sendo revelada é apenas para os iniciados e há um uso continuado da abordagem alegórica que se tornou comum nos últimos trabalhos gregos. A natureza religiosa da arte é enfatizada e o vitalismo predominante favorecido pelos autores alquímicos é visto nas discussões da geração de metais e na interpretação sexual dos estágios fundamentais da Grande Obra⁹. O conceito da pedra filosofal também é bem desenvolvido na literatura árabe. Essa pedra, que supostamente forneceu uma substância que provocou a rápida transmutação de metais básicos em ouro, derivou do conceito anterior de elixires especiais que poderiam curar doenças no homem e que analogamente poderiam aperfeiçoar - ou curar - metais imperfeitos na natureza animal (DEBUS, 1977).

⁹O trabalho relacionado à Pedra Filosofal era chamado pelos alquimistas de "A Grande Obra". Com essa pedra seria possível obter a transmutação dos metais e o Elixir da Imortalidade, que é capaz de prolongar a vida indefinidamente.

A teoria dos elementos aristotélicos era comumente empregada por autores islâmicos, mas, além disso, as obras em árabe atribuídas a Jabir ibn Hayyan (c. 721-815), estudioso do século VIII, empregaram uma teoria do mercúrio-enxofre para descrever os metais. Tal conceito sugere que todos os metais são compostos de diferentes proporções de enxofre e de um mercúrio sofisticado (artificiais). Os autores concordaram, em geral, que essas duas substâncias tinham uma semelhança com o enxofre comum e o mercúrio, mas também foi afirmado que elas eram muito mais puras do que qualquer coisa que pudesse ser produzida no laboratório. Embora a teoria do mercúrio-enxofre tenha aparecido primeiro nesses textos árabes, parece ter sido uma modificação de um conceito aristotélico anterior de duas exalações dentro da terra que levam à formação de minerais e metais (DEBUS, 1977; 2002).

A teoria enxofre-mercúrio¹⁰ havia obtido vários seguidores, entre eles os alquimistas e estudiosos da época, sendo defendida por influentes figuras como o médico aristotélico Abu Ali Al-Husayn ibn Sina (980-1037), mais conhecido como Avicena, que acreditava na teoria enxofre-mercúrio e na hipótese da transmutação dos metais. Além disso, Avicena contribuiu para o ensino de medicina na Europa até meados do século XVI (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

A importância médica da alquimia foi aceita pelos autores islâmicos mais tarde do que os conceitos mais claramente rotulados como helenistas¹¹. Entre os primeiros, estava o médico al-Razi (Rhazes) (860-925), cujo trabalho é decididamente prático por natureza. Embora ele aceitasse a verdade da transmutação e discutisse elixires de poderes variados, no *Livro do Segredo dos Segredos*, al-Razi falou longamente sobre o equipamento químico e as operações de laboratório necessárias para o químico. Ele descreveu um grande número de reagentes de laboratório classificados por ele como animal, mineral, vegetal e etc (DEBUS, 1977).

A alquimia ocidental dependia diretamente das fontes árabes. Como os estudiosos islâmicos procuraram textos alquímicos para traduzir no século VIII, seus colegas latinos procuraram obras semelhantes quatro séculos depois. Há frequentes referências à alquimia na obra de Tomás de Aquino (c. 1225-1274), enquanto que, dos comentários de Aristóteles escritos por Alberto Magno (c. 1193-1280), fica claro que o assunto era de interesse real para estudiosos do século XIII (DEBUS, 1977).

¹⁰Os árabes, entre os séculos VII e X, adicionam dois princípios aos quatro elementos: o mercúrio, responsável pela fluidez e brilho metálico, e o enxofre, responsável pela combustibilidade. No século XVI, os alquimistas europeus introduzem mais um princípio: o sal, responsável pela estabilidade.

¹¹O “helenismo” pode ser definido como o período que se estende desde a morte de Alexandre, O Grande, até o momento em que a península grega foi anexada por Roma.

Magno conhecia o trabalho de Avicena e comentara sobre o fato de que este erudito islâmico, em diferentes textos atribuídos a ele, aceitava e negava a possibilidade de transmutação. Mas, embora o próprio Magno acreditasse na “verdade” da transmutação, ele permaneceu cético em relação aos metais "transmutados" que ele realmente vira, nenhum dos quais fora capaz de suportar o calor do fogo do avaliador. Com Magno, também temos evidências precoces do uso da teoria do enxofre-mercúrio no Ocidente. Em seu *De mineralibus*, ele se referiu ao antigo conceito às exalações, mas passou a discutir uma "nova" teoria que atribuía a origem dos metais ao enxofre e ao mercúrio (DEBUS, 1977).

Alguns dos mais interessantes tratados alquímicos medievais datam do final do século XIII e início do século XIV. Entre eles, a *Summa perfectionis* e outras obras atribuídas ao estudioso do século VIII Jabir ibn Hayyan (latinizado como Geber). Uma comparação revela um possível conhecimento de alguns dos textos árabes, mas o trabalho de Geber é essencialmente novo. Assim, o enxofre-mercúrio contém a base para uma compreensão dos metais: o alquimista deve organizar essas duas substâncias em proporções perfeitas para “produzir” o ouro. Como o ouro líquido deveria ser bebido pelo candidato à imortalidade e à pureza da alma, ele também era conhecido como o elixir da longa vida.

A “*Summa*”, segundo Maar (2002), contém uma parte teórica e aspectos práticos. Na teoria aceita, a hipótese enxofre-mercúrio descreve as propriedades dos metais de acordo com esta. Além disso, aceita a transmutação e propõe que metais comuns estariam “doentes”, precisando de “cura” por meio do elixir. Geber afirma ter encontrado um “elixir universal”, mas a relação quantitativa e mística existente entre o enxofre e o mercúrio, presente no árabe de Jabir, não é mais evidente no latim. Além disso, na descrição detalhada de processos e equipamentos laboratoriais de Geber, há uma mudança importante nas técnicas de destilação que parece ter sido originada entre os químicos dos séculos XII e XIII (MAAR, 2002; DEBUS, 1977).

A introdução da condensação tornou possível a coleta de frações de baixo ponto de ebulição pela primeira vez e, como resultado, encontramos na literatura de meados do século XII a primeira referência ocidental clara ao álcool. Geber confirmou essa mudança no equipamento e no procedimento: ele descreveu detalhadamente o aparato de condensação e também foi o primeiro a fornecer um método para a preparação de um ácido mineral - nosso atual ácido nítrico. Essas substâncias mais misturas de outros ácidos minerais colocaram novos reagentes poderosos nas mãos de alquimistas que deveriam usá-los regularmente após esse período (DEBUS, 1977).

Resumidamente, a alquimia dedicava-se, fundamentalmente, a dois propósitos, um de caráter esotérico e outro de caráter exotérico: a produção do elixir da longa vida (propósitos de caráter exotérico) e da pedra filosofal (capaz de transmutar metais menos nobres em ouro), e o aperfeiçoamento espiritual (propósito de caráter esotérico) (FARIAS, 2007; DEBUS, 1977). Os propósitos esotéricos eram mais visados pela alquimia chinesa, a qual acreditava que, apenas por meio do aperfeiçoamento interior, seria possível preparar a pedra filosofal. Logo, não bastava seguir somente operações “químicas” se o indivíduo fosse espiritualmente impuro, uma vez que ele não conseguiria promover a transmutação. Segundo Farias (2007, p. 37 e 38):

A realização do trabalho alquímico poderia ser efetuada seguindo-se uma sequência preestabelecida de operações... As mais comuns são, cabalisticamente, sete: calcinação, coagulação, destilação, dissolução, conjunção, fermentação e separação.

A troca cultural entre o Oriente e Ocidente foi difundida a partir das cruzadas¹². No contato entre a alquimia grega e a alquimia árabe, ocorreu um grande desenvolvimento das técnicas, práticas e equipamentos, o que se repetiu na transição da alquimia árabe para alquimia cristã. Portanto, segundo Tavares (2010), a alquimia, ao se deparar com os diferentes povos, adaptou-se conforme o contexto cultural de cada civilização, tentando responder, de maneiras diferentes e eficazes, às necessidades culturais às quais era exposta (ALFONSO-GOLDFARB, 1987; CHASSOT, 1994).

Alfonso-Goldfarb (1987) destaca a necessidade da utilização do saber das grandes civilizações passadas ao atual momento de carência vivido na Europa, pois o século XIV foi marcado por guerras, fome e pela peste negra, devastando um terço da população. Dessa forma, adequando-se às exigências urgentes, esses conhecimentos foram direcionados para a medicina.

A teoria dos quatro elementos estava entre os conhecimentos alquímicos largamente aplicados na medicina, entretanto sofreu modificações de modo a se encaixar adequadamente a esse novo contexto. Porto (1997, p. 569) esclarece:

A teoria médica mais difundida na época via o corpo humano saudável como o resultado do perfeito equilíbrio entre os quatro humores que o constituiriam. Estes humores estariam relacionados com a clássica doutrina dos quatro elementos e quatro qualidades primárias. Assim, os quatro humores, e as quatro qualidades respectivamente predominantes em cada um deles, seriam: sangue (quente), fleuma (úmido), bÍlis amarela (seco) e bÍlis negra (frio).

¹²Foram realizadas oito cruzadas com a finalidade de expulsar os árabes das terras santas, sendo a primeira em 1096 e a última em 1270. Além de recuperar Jerusalém, que tinha sido conquistada pelos árabes no século VII, havia motivos ligados à expansão territorial, um local para troca de produtos manufaturados e para saques - envolvendo interesses religiosos, políticos, comerciais e militares.

Tal teoria consistia na teoria de Galeno, na qual o equilíbrio dos humores determinava o tipo de personalidade da pessoa, além de indicar a tendência a sofrer certas doenças. Por exemplo, se algum dos humores se desenvolvesse mais do que outros, passaria a dominar a personalidade (PORTO, 1995).

Galeno acreditava que algumas pessoas são mais predispostas a determinados temperamentos e, como os problemas temperamentais seriam causados pela falta de equilíbrio entre humores, as pessoas poderiam ser curadas com dietas e exercícios, sendo usadas purgações e sangrias em casos extremos (PORTO, 1995).

Devido a diversas concepções existentes sobre a prática da medicina na Europa, Porto (1997) destaca que é possível encontrar vários tipos de médicos, aqueles que defendiam as concepções médicas veiculadas nos textos gregos originais; os médicos ligados a uma visão mais empírica, e aqueles que buscavam incorporar as teorias médicas clássicas e árabes ao seu trabalho. Em meio a essas práticas, encontramos Paracelso (1493-1541) (TAVARES, 2010).

No final do Século XV, a Europa estava passando por um período repleto de transformações que afetavam todas as ciências. Contra as ideias de Avicena e dos seguidores de Aristóteles, Paracelso propõe diferentes conceitos sobre a estrutura da matéria (ALFONSO-GOLDFARB et al., 2016).

Paracelso, conforme Maar (2002), mesmo que tenha desdenhado dos antigos, desenvolveu a teoria dos quatro elementos aristotélicos, via “teoria enxofre-mercúrio” dos árabes, numa teoria mais conveniente para suas próprias finalidades, os *tria prima*, e de certa forma, houve uma sequência evolutiva: elementos aristotélicos → teoria do enxofre-mercúrio → *tria prima*. Ele havia alterado e modificado as ideias dos antigos alquimistas árabes sobre a composição dos metais mercúrio e enxofre, adicionando o terceiro princípio, o sal. Destaca-se ainda que Paracelso estabeleceu algumas definições mais práticas para a Alquimia, nas palavras de Frezzatti Jr. (2005, p. 146):

A transmutação seria o processo pelo qual um objeto tem sua essência substituída por outra; por exemplo, quando o metal transforma-se em vidro ou pedra e a pedra em carvão. Apesar de poder ocorrer com qualquer material, a transmutação de metais seria o grande segredo da natureza, muito difícil de se realizar, embora não fosse contrário nem à natureza nem a Deus. Os metais são classificados como perfeitos (ouro e prata) e imperfeitos (cobre, ferro, estanho, chumbo, etc.). A produção de metais perfeitos com base em metais imperfeitos só seria possível por meio da Pedra Filosofal.

Segundo Frezzatti Jr. (2005), o alquimista suíço foi responsável pela introdução de substâncias químicas isoladas no tratamento de doenças (iatroquímica), além de ser considerado um dos precursores da homeopatia. Para ele, o homem, seria constituído pelos três princípios

(sal, enxofre e mercúrio). Paracelso acreditava na transmutação, personificou os dois lados da Alquimia, o prático e empírico, e o simbólico e místico. Além disso, mostrou seu lado prático e pragmático, que era ligado ao cotidiano dos homens e suas necessidades primárias, e seu lado místico, que se associava a supostas necessidades interiores e eternas dos homens (FREZZATTI JR., 2005; MAAR, 2008).

Pode-se dizer também que Paracelso foi o primeiro europeu a fazer menção ao zinco, o qual considerava um “metal bastardo” do cobre. No campo da medicina, desvencilhou-se dos quatro humores de Galeno (sangue, fleuma, bílis branca e bílis negra) baseando-se nos três “princípios hipostáticos”, equivalente aos *tria prima*: sal = corpo, enxofre = alma e mercúrio = espírito. Para ele, a doença era causada por um desequilíbrio entre os três e os remédios tinham como função reestabelecer esse equilíbrio (DEBUS, 2002; MAAR, 2008).

Segundo Porto (1995), esses três princípios não devem ser confundidos com as substâncias comuns conhecidas por esses mesmos nomes, pois são considerados como “forças espirituais” que, ao encontrarem a matriz elementar, materializariam-se gerando um objeto. Além disso, Porto (1995) destaca que o enxofre tornaria os corpos mais ou menos combustíveis, dando-lhes estrutura; o mercúrio daria aos corpos fluidez; e o sal forneceria a cor e a solidez da matéria (PORTO, 1995; 1997).

O interesse de Paracelso estava em preparar medicamentos a partir de substâncias naturais que fossem de origem vegetal ou mineral, pois acreditava que os minerais cresciam e se desenvolviam na terra, sendo um processo que o homem poderia imitar pela aceleração ou adaptação desses processos naturais, ou seja, era um vitalista, como grande parte dos alquimistas. Foram produzidos vários remédios inorgânicos por ele e seus discípulos, a partir da concepção de que uma doença seria o desequilíbrio entre os três princípios, mas poderia ser eliminada por remédios minerais (TAVARES, 2010). Um exemplo seria o uso de ferro para pacientes com anemia, “sem esquecer de adicionar uma pequena dose de sangue, porque o ferro se achava ligado a Marte, o planeta vermelho, deus da guerra, do sangue e do ferro.” (MASON, 1964, p. 182).

O mundo intelectual vivido por Paracelso é caracterizado por um fator importante, o humanismo renascentista - o fascínio pela antiguidade em todos os seus aspectos. Os autores procuraram escrever um latim estilisticamente puro para substituir o latim bárbaro da Idade Média. Eles viajaram em busca de manuscritos antigos que poderiam ter sobrevivido em mosteiros isolados e estudaram o grego para que pudessem traduzir esses tesouros do mundo antigo (DEBUS, 1993).

Segundo Maar (2008), Paracelso vai mais longe, pois propõe abandonar Aristóteles e todas as autoridades antigas, passando a existir no século XVI um predomínio do experimento (DEBUS, 2002; MAAR, 2008).

De acordo com Debus (2002), os paracelsistas tinham como objetivo derrubar o aristotelismo tradicional e dominante das universidades, uma vez que consideravam Aristóteles um pagão, sendo sua filosofia e seu sistema da natureza inconsistentes com a Cristandade, o que era uma preocupação significativa durante a Reforma. Dessa forma, os paracelsistas pretendiam substituí-los por uma filosofia cristã neoplatônica e hermética que explicasse a totalidade dos fenômenos naturais.

Porto (1995) aponta que o homem deveria estudar a natureza por meio da observação direta dos fenômenos, o que permitiria desvendar segredos que eram desconhecidos e, através da experiência mística e da observação controlada da natureza, esse conhecimento seria adquirido como uma graça divina, resultando na compreensão das analogias que permeiam todo o cosmo (DEBUS, 2002; PORTO, 1995).

A ideia de unidade da natureza e essa visão do conhecimento como busca de analogias acabaram fundamentando a inseparável relação que a escola dos paracelsistas estabelecia entre a medicina e a química. Dentro dessa linha de pensamento, a medicina e a química, segundo Porto (1995), estariam relacionadas não só através de analogias, mas também pela utilização de remédios químicos, preparados a partir de materiais inorgânicos, o que ficou conhecido como Iatroquímica (PORTO, 1995).

Mais tarde, no período da Reforma, os paracelsistas defendem fortemente que qualquer raciocínio que impusesse alguma restrição a Deus não poderia ser aceito, o que torna os textos dos Antigos um sacrilégio, devendo ser rejeitados. Nessa visão, a filosofia química acaba sendo uma ciência fortemente baseada na observação e na religião. Segundo Debus (2002, p. 99):

“No caso de Paracelso, uma verdadeira filosofia da natureza apenas poderia ser atingida através da destruição da autoridade dos Antigos e da sua substituição pelo conhecimento divino que seria obtido por uma nova investigação – em larga medida, inspirada quimicamente – do Universo criado por Deus.”

De forma resumida, Debus (2002) explica que se o trabalho de diversos matemáticos, médicos e astrônomos do Renascimento foi baseado em autores do período entre Aristóteles e Galeno, também existiam aqueles que acreditavam que a verdade poderia ser atingida na destruição completa da medicina e ciência escolásticas, ou seja, tornava-se cada vez mais comum os eruditos pensarem em uma nova filosofia, no final do século XVI. A variedade de pensamentos propostos nesse período pode ser ilustrada por meio do trabalho de três

personalidades – Francis Bacon e Descartes, os quais procuravam uma “nova filosofia”, e Galileu Galilei.

Francis Bacon (1561-1626) foi um político, cientista e filósofo muito importante no final do Renascimento, considerado um dos fundadores da ciência moderna. Seu principal esforço tinha como objetivo a reforma do nosso conhecimento sobre a natureza. Segundo Debus (2002), Bacon era perito na literatura sobre alquimia e magia natural e se lamentava pelo secretismo dessa ciência, pois, para ele, um verdadeiro mago deveria tornar suas descobertas públicas (DEBUS, 2002).

Bacon é único entre todos os grandes homens destacados na historiografia da Ciência que nunca foi um praticante de qualquer disciplina científica. Ele era, no entanto, um pretense reformador programático do conhecimento natural. As principais características da nova filosofia de Bacon eram a insistência de que o conhecimento deveria ser usado em benefício da humanidade (HENRY, 2002).

A nova filosofia de Bacon pretendia ser experimental, na qual as experiências deveriam ser escolhidas e registradas cuidadosamente, destacando a necessidade de coletar grande volume de dados, no sentido de fazer inferências de comportamento particular para o geral. Isso permitiria excluir hipóteses improváveis e conduziria ao teste de novas hipóteses. Ele acreditava que, uma vez que todos os fatos sobre qualquer assunto estivessem disponíveis para fácil exame, uma teoria explicativa emergiria espontaneamente (DEBUS, 2002; HENRY, 2002).

De fato, Bacon rejeitou explicitamente a validade da matemática para entender o mundo natural, ou seja, não foi inspirado pelo experimentalismo emergente da tradição matemática. O exemplo de Bacon serve para ressaltar o fato de que havia outras fontes de conhecimento baseadas no empirismo, como as tradições artesanais, a nova medicina paracelciana, a alquimia e outros aspectos da tradição mágica. Dessa forma, Bacon propunha um método científico essencialmente experimental, qualitativo e de natureza indutiva e desconfiava da matemática, como Paracelso (DEBUS, 2002; HENRY, 2002).

A hipótese de que o conhecimento surgiria espontaneamente a partir de um conjunto de dados acumulados era um sonho que inspirou muitos autores do século XVII, os quais enxergavam em Bacon um guia e consideravam que um dos seus maiores legados foi seu trabalho intitulado *Sylvasylvarum* (1627) (DEBUS, 2002).

Além de Bacon, segundo Debus (2002), não menos influente foi René Descartes (1596-1650), que também tentava instituir uma nova filosofia. Descartes idealizou uma ciência da natureza universal, cuja chave seria a matemática e o método matemático. Dedicou-se à pesquisa quando se mudou para a Holanda, de onde se correspondia com vários estudiosos do

mundo todo, e teve publicações muito importantes como o *Discurso do Método* em 1637, que serviu de introdução aos estudos sobre Geometria, por exemplo (DEBUS, 2002).

Descartes compartilhava com Bacon a ideia de fundar uma nova filosofia, porém foi muito além, pois acreditava que existia a necessidade de se descartar completamente todo o conhecimento pré-concebido e começar de novo, aceitando como incontestável apenas Deus e a realidade da existência individual. Debus (2002) relata que, para Descartes, a Divindade era compreendida através do pensamento e, a partir deste fundamento, encontrava-se preparado para deduzir a totalidade do Universo e suas leis. Dessa forma, passou de Deus à matéria e ao movimento em sua cosmologia (DEBUS, 2002).

Segundo Debus (2002), o Universo de Descartes era “mecânico” e rejeitava as explicações vitalistas de seus contemporâneos. Ele postulou uma quantidade constante de movimento no Universo, que estava relacionado a partículas de três dimensões correspondentes aos antigos elementos terra, ar e fogo. Dentre elas, as maiores eram as primeiras, as quais explicavam as propriedades químicas e físicas da matéria, seguidas das segundas, que eram muito menores e se moviam mais rapidamente, podendo ser encontradas entre partículas da terra. Por último, as partículas do fogo, que possuíam um movimento muito violento, ocupando qualquer fenda que pudesse existir, preenchendo todo espaço (DEBUS, 2002).

A filosofia de Descartes era mecanicista e abandonava as fontes “vitais” quando aplicada ao homem e à biologia, sendo que seu trabalho desempenhou um papel significativo no desenvolvimento da escola iatrofísica do final do século XVII. A influência de Descartes na Ciência europeia, de acordo com Debus (2002), declinaria em meados do século XVIII, pois, em geral, a nova ciência de Descartes era eficaz quando aplicada a assuntos que precisavam de um tratamento matemático e poucas de suas especulações a respeito de biologia ou cosmologia tiveram um valor duradouro para o desenvolvimento da futura ciência (DEBUS, 2002). De acordo com Frezzatti Jr (2005, p. 141), o aspecto fundamental do mecanicismo era a homogeneização dos entes e dos processos naturais:

Os fenômenos naturais são reduzidos a poucos elementos e movimentos que se repetem em todos os casos. Isso permite que cálculos matemáticos possam ser aplicados à Natureza. Quando, portanto, nos referimos à introdução do mecanicismo na Química, não queremos significar com isso a introdução do cartesianismo puro na Química, mas sim da homogeneização e matematização dos processos de transformação da matéria.

O método de Descartes levou-o a uma nova metafísica, a qual forneceu a base para um novo sistema de física, que por sua vez se tornou a mais influente das novas filosofias

"mecânicas", influenciando uma das mais importantes personalidades mecanicistas, Robert Boyle. Tão influente quanto Descartes foi Galileu.

Galileu Galilei, discípulo de Copérnico, nasceu em Pisa e desde cedo se interessou pela matemática e astronomia. Foi fortemente influenciado pelos trabalhos de Arquimedes, que possuíam uma visão muito distante de Aristóteles, por expressar matematicamente os fenômenos físicos. Iniciou sua carreira profissional como professor de Matemática e se dedicou não à lógica, mas à cosmologia e à mecânica (WESTFALL, 2001; DEBUS, 2002).

Galileu recorreu a uma descrição matemática dos fenômenos naturais, o que o diferencia de Bacon e Descartes. Sua intenção era estabelecer uma nova ciência que tratasse de um antigo tema, a alteração do movimento. Além disso, Galileu se difere de Bacon, pois os exemplos de movimento de Bacon teriam sido reunidos antes da determinação de leis científicas. Galileu, primeiro, fazia suas suposições para depois recorrer a provas experimentais, o que levava as demonstrações serem fornecidas como experiências idealizadas (DEBUS, 2002).

Segundo Westfall (2001, p. 19), Galileu começou com a análise de condições idealizadas que nunca podem ser conhecidas pela experiência, ou seja, Galileu efetuava a maioria de suas experiências de forma idealizada, experiências de pensamento que só eram possíveis em sua imaginação. Dessa forma, Westfall (2001, p. 19) destaca:

Depois de uma hipotética experiência ser preparada, Salviati pede a Simplicio para imaginar o que se observaria "se não com os olhos reais, pelo menos com os da mente".

Portanto, Galileu partiu do caso idealizado, onde o real era uma realização imperfeita do ideal, pensando as equações em um mundo idealizado e mostrando que o real era uma aproximação do ideal, enquanto Aristóteles começava com a experiência. A partir daí, segundo Westfall (2001), os fatos da experiência foram ressignificados (WESTFALL, 2001).

A importância desse procedimento adotado por Galileu consiste em modificar a visão sobre como um cientista investiga um problema específico, por meio da constante ação combinada hipótese e experiência. Debus (2002), destaca que tanto Bacon quanto Descartes tinham o objetivo de extinguir as antigas filosofias, o que gerou grande impacto no mundo científico do final do século XVII. Galileu elaborou uma expressão matemática para as leis do movimento, que foi de extrema importância para o desenvolvimento da mecânica moderna, constituindo uma base para o trabalho de Isaac Newton, ou seja, mostrou o poder de suas análises por meio de tratamentos matemáticos (DEBUS, 2002).

Deve-se destacar a importância de Galileu para a teoria atomista, pois o estudo do movimento local se relacionava tanto com o destino do sistema copernicano como com o

reviver da teoria atomista. Segundo Debus (2002, p. 111), “Galileu observou que, quanto menos denso é um meio, mais próximas se tornam as velocidades dos corpos em queda, independentemente do seu peso”, tal observação o levou a concluir que, no vácuo, todos os corpos caem com a mesma velocidade, trazendo à tona a discussão da existência do vácuo, e mais importante, a possibilidade de a matéria ser constituída por átomos (DEBUS, 2002).

Dessa forma, na busca por uma filosofia mecanicista desligada de associações vitalistas e teológicas, era esperado que a explicação naturalista dos fenômenos fosse baseada unicamente em termos de forma, dimensão e movimento das partículas. Debus (2002, p. 111) destaca:

Já vimos o sistema específico de Descartes, mas por diversas razões filosóficas, este rejeitou a possibilidade do vácuo. E, embora pudesse ser inesperado, até os alquimistas utilizavam uma mistura de atomismo e vitalismo nas suas explicações, no início do século XVII. Porém, foi a crença de Galileu na constituição atômica da matéria e na existência do vácuo que se revelou mais influente neste assunto.

A discussão de Galileu sobre o vácuo acabou conduzindo a trabalhos experimentais que confirmaram suas conclusões. Uma das provas experimentais foi a experiência do navio¹, que não foi publicada e posteriormente foi abordada por Pierre Gassendi (DEBUS, 2002).

As filosofias naturais de Pierre Gassendi, René Descartes, Robert Boyle e Isaac Newton, foram cuidadosamente desenvolvidas para dar suporte às visões teológicas individuais de seus respectivos autores. Precisamente o mesmo poderia ser dito das filosofias naturais de uma série de figuras menores, como de Paracelso a Blaise Pascal (HENRY, 2002).

Gassendi, por exemplo, foi um dos vários pensadores que recuperou (e refutou) a doutrina atomista, segundo Zaterka (2006), assim como Sennert, Newton, Boyle – no período conhecido como “revolução científica”, um dos períodos mais importantes na História da Ciência, que, segundo Henry (2002), é o nome dado ao período da história europeia quando os fundamentos conceituais, metodológicos e institucionais da ciência moderna se estabeleceram. Em geral, a precisão do período em questão varia de historiador a historiador, mas o foco principal costuma ser o século XVII, com períodos variados de ambientação no século XVI e consolidação no século XVIII. Da mesma forma, suas origens, causas, campos de batalha e resultados também variam de autor para autor (HENRY, 2002).

Não há dúvidas de que, durante esse período, mudanças altamente significativas e de grande alcance foram trazidas em todos os aspectos da cultura europeia, em que filósofos naturais, preocupados com a natureza do mundo físico e como devem ser estudados, analisados e representados, desempenham um papel significativo na ciência moderna (HENRY, 2002).

Pierre Gassendi (1592-1655) ficou conhecido como um dos filósofos que recuperou o atomismo na modernidade, que criticou o epicurismo tradicional, pois afirmava que a ordem do universo não poderia se explicar por meras combinações de átomos, mas ao contrário, deveria se assumir a existência de Deus. Rejeitou o aspecto da teoria da matéria de Epicuro e insistiu que Deus dotou a matéria com um princípio interno de movimento na Criação, esse estratagema foi adotado por vários outros mecanicistas, incluindo Boyle e Newton (HENRY, 2002; ZATERKA, 2006).

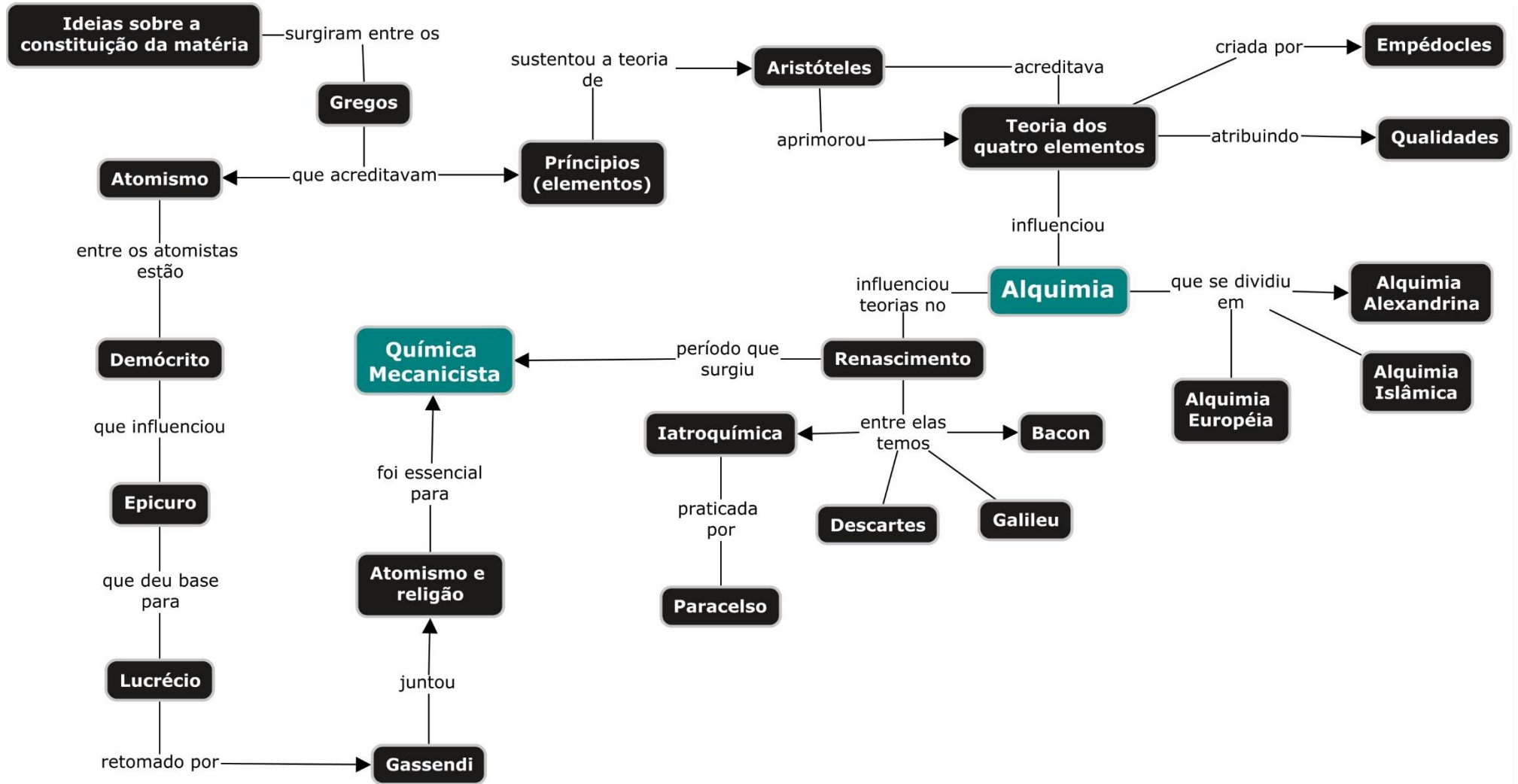
No século XVII, tanto Gassendi quanto Boyle defendem que os átomos permitem que o mundo seja concebido como uma máquina, que segundo Bensaude-Vicent (1992, p. 44) está “submetida a vontade do seu criador para o qual revertem toda a glória”.

Mesmo que Gassendi fosse defensor do atomismo, diferenciava-se de Descartes em determinadas questões, pois Descartes acreditava que a matéria era infinitamente indivisível, já Gassendi pensava na existência de unidades básicas que são divisíveis. Para Gassendi, a matéria era constituída por átomos e estes poderiam ser evidenciados indiretamente por dados sensoriais obtidos pela observação, uma vez que ele defendia o empirismo e admitia a existência do vazio (WESTFALL, 2001; GATTO, 2017).

Segundo Gatto (2017), por conciliar as concepções mecanicistas aplicadas para a matéria, o atomismo foi deixando de ser considerado com uma doutrina pagã, o que possibilitou de certo modo o avanço das ideias atomistas. Dessa forma, Robert Boyle é a principal personalidade da Química mecanicista, pois foi o responsável por destacar as teorias de Descartes e Gassendi, por considerar que a filosofia mecanicista fosse capaz de relacionar os fenômenos naturais com os dois princípios católicos: a matéria e o movimento, tratando o atomismo e o cartesianismo como duas expressões da mesma concepção de natureza (GATTO, 2017; WESTFALL 2001).

As ideias apresentadas nessa seção foram sintetizadas (Figura 1) para melhor compreensão dos períodos.

Figura 1 – Mapa conceitual da seção 4.1.



Fonte: Autora (2019)

4.2 Robert Boyle e a Química Mecanicista

Robert Boyle (1627-1691), figura 2, nasceu em Munster, na Irlanda, no dia 25 de janeiro de 1627. Era o filho mais novo do riquíssimo duque de Cork. Aos oito anos entrou para o Eton College, a maior e mais famosa das escolas preparatórias da Inglaterra. Dedicou-se ao estudo do latim, grego, hebraico e siríaco, o que lhe permitiu, mais tarde, fazer extensos estudos da Bíblia nas línguas originais. Iniciou uma viagem pela Europa com apenas 11 anos, um toque final para um aristocrata inglês. Com 14 anos, visitou a Itália, onde recebeu influência de Galileu, decidindo dedicar sua vida à Ciência (SARTON, 1950).

Figura 2 – Robert Boyle.



Fonte: Michael Hunter (2015)

A educação de Boyle foi bastante convencional. Ele foi educado em parte em casa, e em parte no Eton College, completando sua educação viajando para a França, Itália e Suíça, onde passou vários meses e recebeu instruções adicionais (HUNTER, 2018).

Com o passar dos anos, Boyle tornou-se mais e mais interessado em medicina. Sua curiosidade nesse campo o levou à Química. Inicialmente, Boyle estava interessado principalmente no campo da química que lidava com a preparação de medicamentos, mas logo ficou genuinamente interessado no assunto e começou a estudá-lo em grande detalhe (HUNTER, 2018).

Boyle era um anglicano devoto que defendia com convicção sua fé, patrocinou atividades educacionais e missionárias. Escreveu vários tratados teológicos. Enquanto os escritos religiosos da juventude de Boyle eram principalmente devocionais, seus trabalhos maduros concentravam-se nas questões filosóficas mais complexas da razão, natureza e revelação, particularmente na relação entre a nova ciência emergente e a religião. Boyle estava profundamente preocupado com a percepção generalizada de que a irreligião e o ateísmo estavam em ascensão, esforçando-se para demonstrar maneiras pelas quais ciência e religião se apoiavam mutuamente. Para Boyle, estudar a natureza como um produto da obra de Deus era um dever inerentemente religioso (HUNTER, 2018).

Segundo Westfall (2001), Robert Boyle foi, sem dúvida, o mais importante químico mecanicista e gostava de se apresentar como um empirista baconiano. A insistência de Boyle na explicação em termos de um atomismo dinâmico (atomismo de Boyle ligado a Newton) coloca-o em uma grande tradição científica do século XVII - uma tradição derivada de Bacon, Gassendi e Descartes e, em última análise, dos escritos metafísicos dos filósofos democritianos e epicuristas (WESTFALL, 2001; KUHN, 1952).

Boyle dedicava-se a compilar uma história natural liberta de pressuposições teóricas e afirmou ter se absterido em ler Descartes e Gassendi por medo de ser seduzido por seus sistemas. Durante a década de 50 do século XVII, instalou-se em Oxford e associou-se a um grupo que viria, mais tarde, a ser o núcleo da Royal Society (WESTFALL, 2001).

De acordo com Zaterka (2003, p. 143), o interesse de Boyle pela Química remonta a duas cartas que ele envia para sua irmã, Lady Ranelagh, onde descreve as dificuldades com que se deparou com o instrumental químico, especificamente com o carregamento de um forno, o qual causou graves problemas em suas mãos, impedindo o mesmo de manusear materiais químicos por vários meses, destacando que “não estaria destinado a descobrir a pedra filosofal, pois foi infeliz em seus primeiros esforços com a química” (ZATERKA, 2004).

A incorporação da Química como teoria científica independente (junto à filosofia natural) se iniciará a partir do trabalho de Robert Boyle, que teve sua jornada científica favorecida por dois principais fatores: a sua curiosidade voltada aos estudos e sua fortuna familiar. Boyle teve uma vasta formação cultural e contato direto com obras importantes da nova “filosofia natural”, integrou-se à Royal Society devido a seu sucesso e possuía um grupo que chamava de “Colégio Invisível”, composto por químicos práticos, alquimistas e médicos que se dedicavam à iatroquímica. O interesse do grupo pelo estudo dos fenômenos químicos foi tão grande que, mais tarde, um dos membros sugere a formação de um núcleo exclusivo e especializado em tais estudos (WESTFALL, 2001; ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Pode-se destacar que a vertente da tradição que antecedeu a Química do século XVII foi a alquimia, que, segundo Westfall (2001), reforça ainda mais a oposição entre a perspectiva dominante na Química e a filosofia mecanicista em desenvolvimento. A função da alquimia, de forma resumida, era produzir ouro, recorrendo à técnica do processo natural onde o ouro era produzido na terra. Westfall (2001, p. 66) afirma que:

A alquimia expressava a concepção orgânica da natureza nos seus termos mais expressivos. O seu vocabulário estava repleto de termos cujas conotações não deixavam dúvidas – fermentação, vegetação, digestão, geração, maturação. Havia uma tendência para a utilização de calores orgânicos nos seus processos morosos: por exemplo, os materiais eram enterrados em pilhas de estrume para passarem por períodos de gestação. Durante o século XVII, a alquimia, cuja influência desaparecia, associou-se à iatroquímica ao defender a concepção que via os metais como substâncias orgânicas que cresciam da terra e como corpos mistos, compostos a partir de princípios químicos.

Dessa forma, a tradição iatroquímica catalogou as reações e preparações dos químicos, porém, conforme Westfall (2001, p. 67), “falhou na organização dos fatos num conjunto teórico coerente, e o seu próprio fracasso contribuiu para o triunfo da química mecanicista”. Resumindo, uma das principais questões com que a Química se debatia era se a filosofia mecanicista daria conta de fazer o que a iatroquímica não fez. A História da Química na segunda metade do século é a história da conversão à filosofia mecanicista (WESTFALL, 2001).

Boyle entrou para o estudo da Química pela “porta” da alquimia, pois sempre possuiu uma tendência ao hermetismo. Quando morou na Irlanda, foi introduzido a técnicas de mineração e metalurgia por homens do povo (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Posteriormente, Boyle queria transformar seu grupo “Colégio Invisível” em visível, por meio de ajuda parlamentar de perspectiva baconiana, ou seja, difundindo e utilizando o conhecimento, assim como outros grupos ingleses que possuíam o mesmo objetivo e eram dedicados ao estudo da nova ciência. Porém, foram anos difíceis, pois ocorreu a Guerra Civil na Inglaterra. Dessa forma, constituir uma sociedade científica se deu início somente após a

Restauração, nos anos sessenta desse século, por Charles II, que garantiu a incorporação da Royal Society of London (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Então, antes de ocorrer a incorporação da Royal Society of London, alguns grupos científicos originaram núcleos que tentavam sobreviver às crises do país, e os que conseguiram preservar seus trabalhos, mesmo com lutas religiosas e políticas na época, tornaram-se o corpo da ciência inglesa, sendo que Boyle estava entre eles. Boyle foi convidado a fazer parte de um desses núcleos, do chamado “Grupo de 1645”, que era liderado por J. Wilkins, guardião do Wadham College, em Oxford na época. Foi ele quem conseguiu manter as graças governamentais após a Restauração e peça central da constituição da Royal Society, oferecendo a Boyle um lugar na universidade para mantê-lo em seu núcleo (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Boyle mudou-se para Oxford em 1654, local apropriado para desenvolver suas pesquisas em Química. Rapidamente, notaram a diferença entre Boyle e os outros cientistas, pois Boyle não utilizava da linguagem matemática como forma de se expressar e, por possuir uma paixão pela nova ciência, destoou entre os matemáticos e astrônomos. Em geral, esses acreditavam que a química se associava a alquimistas charlatões e tais ideias não mereciam atenção entre aquelas da nova “filosofia natural” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Os anos que Boyle passou em Oxford, antes de sua mudança para Londres em 1668, também viram um programa extraordinariamente intenso de escrita de sua parte. Foi nessa época que ele começou ou completou os numerosos livros sobre diferentes aspectos da filosofia natural, que estabeleceram o padrão para sua subsequente carreira intelectual e foram publicados por ele em uma escala sustentada de 1660 em diante (HUNTER, 2018).

Esses incluíam suas Novas Experiências Físico-Mecânicas, Tocando a Elasticidade do Ar e seus Efeitos (1660), Certos Ensaios Fisiológicos (1661), O Químico Cético (1661), Algumas Considerações sobre a Utilidade da Filosofia Natural Experimental (1663, 1671), Experimentos e Considerações Tocando Cores (1664), Novos Experimentos e Observações Tocando o Frio (1665), Paradoxos Hidrostáticos (1666) e A Origem das Formas e Qualidades (1666). Esses trabalhos foram retomados e patrocinados pela recém-fundada Royal Society (HUNTER, 2018).

A partir de seus primeiros trabalhos, foi fácil notar que Boyle não dava muita importância ao uso da matemática como linguagem, preferia longas descrições de experimentos com uso da linguagem cotidiana, pois assim atingiria o homem comum interessado em seus trabalhos e acreditava que dessa forma poderia colocar suas ideias em debates mais amplos. Entretanto, Alfonso-Goldfarb (1987, p. 186) destaca que a matemática ganhou um novo espaço

para Boyle: “De fato, a habilidade matemática pode ser, sob vários aspectos, muito prática a um naturalista”, o que nos leva a concluir que este provavelmente foi influenciado de forma renovadora por seu novo grupo (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Mesmo assim Boyle não deixa de ser devoto à Química e, então, passa a demonstrar de forma muito cuidadosa, quase sempre por meio de operações químicas, a possibilidade de um novo racionalismo “mecanicista” na interpretação da natureza, uma vez que era necessário, segundo Alfonso-Goldfarb (1987, p. 186), que Boyle “o tornasse compatível com sua nova forma de pensar e consequentemente respeitável diante dos moldes da “nova ciência”.

Inicialmente, parecia impossível introduzir os fenômenos químicos a uma análise mecanicista (em termos de matéria e movimento) devido à complexidade dos fenômenos. Acreditava-se que os fenômenos químicos seriam melhor explicados seguindo a teoria de Galeno, pois estavam altamente ligados à alquimia e observá-los com uma visão diferente poderia ser complicado (ALFONSO-GOLDFARB, 1987). Segundo Alfonso-Goldfarb (1987, p.181):

Mesmo a filosofia cartesiana que, aparentemente, poderia dar conta dos fenômenos da matéria de forma mais geral, acabaria por falhar no caso da química. Pois, na medida em que assume a matéria como um contínuo sem lugar para o vácuo e as entidades atômicas, acaba por abolir a possibilidade de uma justificativa, ainda que grosseira, da relação mecânica entre as partículas que constituíam o substrato da matéria.

O estudo da micro matéria para formular uma nova teoria química foi feito por Torricelli, que era discípulo de Galileu. A existência real do vácuo foi admitida a partir dos estudos sobre pressão atmosférica, feitos por Torricelli, e então, Boyle, Pascal e Mayow iniciaram uma série de trabalhos teóricos e experimentais sobre a natureza do ar atmosférico, o que levou à reformulação da teoria química. Alfonso-Goldfarb (1987) destaca, através da citação de R.P. Multhauf (apud ALFONSO-GOLDFARB, 1987, p. 181), um fardo que Boyle não precisou carregar em sua época, o que levou à elaboração da filosofia corpuscular:

Boyle foi, em grande parte, liberado do fardo sob o qual virtualmente todos os respeitáveis filósofos das gerações prévias tiveram de trabalhar: a necessidade de evitar o atomismo por admitirem partículas, mas não o vácuo. Ele (Boyle) via o cartesianismo e o atomismo, fora das “noções metafísicas” destes. Adotando-a como se fosse uma única filosofia e abstando-se das noções derivadas de seu caráter baconiano não apriorístico, chamou-a de filosofia corpuscular.

Dessa forma, Boyle, sabendo do preconceito que os filósofos naturais tinham com relação a Química, propôs-se a elaborar diversos experimentos e teorias, ao mesmo tempo claros e precisos, a ponto de integrar a Química a esse novo saber universal. Acreditava que

essa tentativa poderia aproximar os ditos “espagiristas” (seguidores de Paracelso e Van Helmont) dos “filósofos naturais”. O objetivo de Boyle não era de uniformizar a disputa entre eles, mas sim introduzir o naturalista ao uso da Química (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Os amigos de Boyle ficaram incomodados, pois não consideravam a Química como uma ciência, porém, para Boyle, a mesma estava em uma posição privilegiada para fornecer à filosofia mecanicista da Natureza uma teoria da matéria baseada na experiência. Então, dedicou-se para esse fim em sua carreira científica, elaborando inicialmente um projeto sobre a teoria corpuscular da matéria. Em uma de suas primeiras obras, *O Químico Céptico* (1661), Boyle definiu elemento:

“Por elemento entendo certos corpos primitivos e simples, ou sem qualquer sinal de mistura; que não sendo compostos de quaisquer outros corpos, ou uns dos outros, são os ingredientes dos quais todos os corpos, chamados perfeitamente mistos, são imediatamente compostos, e nos quais são, em última instância, dissolvidos.” (WESTFALL, p. 74)

A definição de Boyle para elemento baseou-se na observação de que muitas substâncias podem ser decompostas em substâncias mais simples. Assim, como Boyle apontou, um elemento é qualquer substância que não pode ser decomposta em uma substância mais simples.

Segundo Westfall (2001), Boyle propôs sua versão de filosofia com interesse particular em aplicar a concepção mecanicista às reações químicas. Em um dos seus ensaios mais importantes, “A Reintegração do Salitre”, ele descreve uma experiência em que o salitre (KNO_3) era separado num espírito volátil (HNO_3) e num sal fixo (K_2CO_3 , sendo o carbono derivado do carvão utilizado no experimento). O objetivo de Boyle não era desenvolver uma teoria química satisfatória, como diz Westfall (2001), mas, para ele, a Química representava um meio de demonstrar a validade da filosofia mecanicista da natureza, mesmo que no fundo parte dela fosse de tradição paracelsiana.

Mesmo que Boyle fosse mecanicista, sua química mantinha parte considerável da tradição paracelsiana, pois, segundo Westfall (2001), Boyle concordava que o espírito ácido dava corpo ao ingrediente ativo do salitre, que os metais cresciam na terra e que eram produzidos pelos “princípios seminais” (um termo que veio de Van Helmont). Devido a isso, a concepção mecanicista sugeria a mutabilidade universal das substâncias, pela qual umas poderiam se transformar em outras. Boyle destaca (apud Westfall, 2001, p. 76):

Não diria que qualquer coisa possa imediatamente ser feita a partir de tudo, como um anel de ouro a partir de ouro ou de óleo, ou o fogo a partir da água; no entanto, uma vez que os corpos, tendo uma única matéria comum, só podem ser distinguidos pelos acidentes, que parecem ser efeitos e consequências do movimento local, não vejo porque seria absurdo pensar que (pelo menos entre os corpos inanimados) quase tudo, se pode, finalmente, fazer de quase tudo

através da intervenção de uma muito pequena adição ou subtração de matéria (que, no entanto, na maioria dos casos, mal será necessária) e de uma série ordenada de alterações, dispondo por graus a matéria a ser transmutada.

A concepção mecanicista de Boyle sugeria a mutabilidade universal das substâncias, pela qual umas podem se transformar em outras, o que explicaria o salitre ter se transformado em um espírito volátil e um sal fixo. A filosofia mecanicista, segundo Westfall (2001), fornecia uma imagem na qual se podia traduzir a antiga crença na transmutação que Boyle nunca pôs em causa, quase tudo pode ser feito de tudo. Boyle utilizou testes químicos para provar que diferentes corpos produzem substâncias muito diferentes quando são analisados e que modos diferentes de análise dividem uma mesma substância em componentes diferentes, pois a doutrina química, de acordo com Westfall (2001), defendia que a análise separava os corpos mistos nos princípios (WESTFALL, 2001).

Suas experiências sugeriam que algumas substâncias eram muito duradouras, por exemplo, a prata e o mercúrio, que poderiam ser submetidos a diversas reações, dando origem à substância atrás de substância e que, a partir das mesmas, seria possível chegar novamente à prata e ao mercúrio originais. Tanto os princípios quanto os elementos da química mais antiga eram fundamentalmente identificados por propriedades físicas, como por exemplo, o sal pela solidez ou o mercúrio pela volatilidade. Portanto, na utilização dos testes químicos feitos por Boyle, estava implícita uma nova ideia de substância química (WESTFALL, 2001). Dessa forma, segundo Boyle (apud Westfall, p. 77):

E, na realidade, visto que a cada espécie determinada de corpos pertence mais do que uma qualidade e, na maior parte dos casos, o concurso de muitas é essencial para esse tipo de corpos, de modo que a carência de uma delas é suficiente para o excluir da inclusão nessa espécie; não é preciso mais nada para distinguir de forma satisfatória qualquer tipo de corpo de todos os outros corpos no mundo que não pertencem esse tipo.

As bases da teoria química moderna, destaca Westfall (2001), foram criadas quando a química seguiu as implicações dessa concepção, que não implicava um contínuo infinito de proporções ou a infinita maleabilidade da matéria, mas a existência de um número distinto de substâncias, identificadas por uma série de testes (WESTFALL, 2001).

O espírito vitalista e qualitativo do alquimista foi perdendo espaço conforme o mundo se reduzia mecanicamente à matéria e ao movimento, esse fenômeno pode ser explicado pela mudança das atitudes de Boyle diante de seus estudos de Química, pois se as propriedades dos corpos são aparências causadas pelas partículas de que são compostos, a Química tinha muitas coisas a dizer que não podiam ser ignoradas pela filosofia mecanicista da natureza (WESTFALL, 2001; ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Boyle adotou a experimentação de forma diferente a de seus “inspiradores”, já que a utilizava somente como comprovação de teorias ou elaboração de hipóteses. No novo contexto de Boyle, o experimento perde sua função de ponte de ligação entre o macro e o microcosmo, e segundo Alfonso-Goldfarb (1987, p. 187):

A cena do experimento num laboratório deixa de ser a síntese do cosmo para se transformar no possante instrumental de análise das partes da grande máquina em que o universo estava sendo transformado. O sentido, a dimensão do próprio experimento enquanto Arte praticada pelo alquimista e, mais tarde, pelo “espagirista”, fica totalmente desarticulado diante da nova realidade científica.

O rompimento dos “espagiristas” com a escolástica foi elogiado por Boyle, pois acreditava que muitos que se sentiam frustrados com a forma dos aristotélicos explicarem o mundo acabaram por abraçar a visão espagírica do mundo. Porém julgava que a teoria filosófica dos espagiristas seria tão subjetiva quanto a teoria aristotélica das “formas” se fosse baseada nos três princípios (enxofre, mercúrio e sal). Essa discussão foi trabalhada por Boyle em sua obra *“The Sceptical Chymist”*, cujo elenco de personagens inclui Carneades (representando as opiniões de Boyle), Themistius (representando o sistema de quatro elementos dos antigos, o aristotélico), Philoponus (representando o sistema de três princípios dos alquimistas, o alquimista) e Eleutherius (um observador imparcial).

Boyle (através de Carneades) sugere que, no lugar dos três “princípios”, seja utilizada a hipótese corpuscular sobre a formação da matéria, pois a teoria dos três princípios vinha enfrentando problemas crescentes no confronto com a experimentação, e tais corpúsculos, agregados de maneiras diferentes, responderiam de maneira racional a esses problemas. Portanto, segundo Alfonso-Goldfarb (1987, p. 188):

Essas diferentes aglomerações corpusculares poderiam combinar-se de maneiras infinitas garantindo resposta em casos nos quais na análise química detecta-se um número distinto de três substâncias básicas num composto. Assim como, garantiria uma imensa quantidade de substâncias básicas, o que resolveria a questão de heterogeneidade na formação dos diferentes compostos.

Dessa forma, Boyle teria a “chave” para introduzir na Química a nova ciência “mecanicista” e, ao mesmo tempo, descartar a teoria dos três “princípios” e a dos quatro “elementos” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Westfall (2001, p. 65) destaca:

A tradição paracelsiana dos princípios ativos, um dos aspectos do naturalismo renascentista, também estava em conflito com a filosofia mecanicista. Era comum, embora não universal, os iatroquímicos considerarem os três princípios de Paracelso como sendo ativos e aceitar, para além deles, dois princípios passivos: a água e a terra. Helmont, provavelmente o último grande paracelsiano, insistiu que um princípio ativo, análogo ao mercúrio de Paracelso,

é o constituinte fundamental de todos os corpos. Esta perspectiva era diametralmente oposta à concepção dos corpos defendida pela filosofia mecanicista.

A fragilidade conceitual de tais teorias foi comprovada por meio de uma variedade de experimentos feitos por Boyle, que confirmou que tais “princípios” e “elementos” podiam ser criados ou destruídos com facilidade em um laboratório. Portanto, a impalpabilidade dos “princípios” e dos “elementos” contribuiu para diluir o próprio conceito de elemento (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Deve-se ressaltar que, em meio aos escritos de Boyle, podemos encontrar uma definição relativamente moderna de elemento, o qual Boyle prefere se referir como se fossem “substâncias”. De acordo com M. Boas (apud ALFONSO-GOLDFARB, 1987, p.189), temos:

Um conceito inteiramente diferente de elemento, o de uma substância que não mais pudesse ser dividida, e que não está presente em muitos corpos, sem falar de todos, era o que se fazia necessário antes que uma definição moderna de elemento pudesse realmente ser assentada.

Como Boyle acreditava que através do movimento poderíamos ter a formação ou separação de aglomerados corpusculares, nesse mundo constituído por matéria e movimento, não havia a necessidade de pensar em termos de “princípios” ou “elementos”. Boyle, então, introduz uma explicação corpuscular para o conceito de substância (apud Alfonso-Goldfarb, 1987, p. 190):

[...] parcela da matéria pode adquirir ou perder os acidentes que chamados de sal, enxofre ou terra... não vejo porque não possamos conceber que ela (a natureza) pode produzir corpos...rearranjando suas minúsculas partes, sem resolver a matéria nas tais substâncias simples ou homogêneas, como se pretende.

Dessa forma, em sua obra *The Sceptical Chymist*, Boyle faz uma crítica aos “aristotélicos” e “espagiristas”, além de criticar as falhas experimentais que os levaram a assumir a “tria prima”. Portanto, a partir do pensamento “mecanicista” da época, a teoria corpuscular da matéria ganhará força, por conta das fortes influências que acreditavam que o mundo era constituído de matéria e movimento, como Descartes, Galileu, Gassendi entre outros filósofos naturais, pois a concepção de matéria de Boyle fornecia uma base racional para a explicação dos fatos (WESTFALL, 2001; ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Um dos estímulos para que se elaborasse uma forma de explicar a natureza em termos “mecanicistas”, ou seja, sem considerar interferências de qualidades vagas ou ocultas, foram as teorias atômicas clássicas, e uma das primeiras adaptações feitas à nova “filosofia natural” foi a de Pierre Gassendi. Porém a teoria atomística de Gassendi ainda estava longe de chegar a um

nível explicativo necessário pela sua falta de provas experimentais e por possuir um certo repúdio teleológico incluído por epicureanos à teoria aristotélica para se encaixar na nova “filosofia natural” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Já Descartes possuía um trabalho teórico sobre o assunto, que era muito mais lógico e próximo do mecanicismo que a de teoria de Gassendi, porém a teoria cartesiana sobre a matéria se tornou muito difícil de ser utilizada. Descartes considerava a inexistência do vácuo e, ao determinar a continuidade da matéria, ele precisou admitir a presença de um tipo de “éter” que envolvia as partículas da matéria, o que consistia em um tipo de agente epifenomenológico da ação divina, segundo Alfonso-Goldfarb (1987), que então justificaria o movimento das partículas.

Por conta de ambas as teorias não possuírem um trabalho experimental, Boyle, que considerava ambas valorosas, buscou uma sustentação experimental a partir de sua grande influência, Lord Bacon, para tornar o atomismo um instrumento que comprovaria as ideias “mecanicistas” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Boyle não encontrou evidências da existência do éter cartesiano, ao menos experimentalmente, então decidiu ignorar sua existência e seguiu para outro caminho, estudando as hipóteses sobre o vácuo, que haviam sido levantadas por Pascal e Torricelli, pois acreditava que tais hipóteses poderiam explicar os fenômenos da matéria de forma mais coerente (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Dessa forma, Boyle irá postular uma teoria corpuscular, pois ao assumir o vácuo (que propicia a descontinuidade da matéria e ao mesmo tempo considera os movimentos de junção e separação desta sem necessidade de forças ocultas ou sobrenaturais) acaba levando a teoria a justificar os fenômenos em níveis microscópicos da matéria, assim como seguidores de Galileu haviam justificado os fenômenos naturais em dimensões macroscópicas (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Segundo Alfonso-Goldfarb (1987), Boyle atribui certa equivalência entre o pensamento cartesiano e a escola atomística epicurista, e sem acatar a ambos, busca a origem do pensamento atomístico em fontes mais antigas, como Leucipo e Demócrito. A fim de substituir as teorias “aristotélicas” e “espagiristas”, Boyle define sua “filosofia corpuscular”, descrevendo em sua obra *The Sceptical Chymist* como tais corpúsculos se combinariam constituindo a matéria.

Na classificação de Boyle, em primeiro lugar, temos a chamada *prima naturalia*, a qual define como uma entidade fisicamente indivisível, sólida e extremamente pequena. Essa entidade criaria aglomerados firmes o suficiente a ponto de persistirem em soluções e outras operações químicas quando se movimentassem através do vácuo. Tais aglomerados, então,

seriam considerados *corpúsculos secundários*, responsáveis por transmitir características imutáveis às substâncias, um exemplo seria os metais, que na época eram considerados substâncias compostas, mas na classificação de Boyle acabam ganhando essa significação (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Porém a preocupação de Boyle não era explicar como se dá a passagem das características físicas de sua *prima naturalia* para as propriedades químicas de seus *corpúsculos secundários*. Segundo Alfonso-Goldfarb (1987, p. 193):

A perspectiva de Boyle é a de resolver as inconsistências geradas por abstrações desconectadas da prática, dentro da teoria atômica utilizando a observação da natureza, a reprodução dos fenômenos naturais dentro do laboratório e o uso da máquina, que tanto auxilia nestes dois fins, como modelo explicativo desta própria natureza.

A partir desse novo pensamento, com o objetivo de desvendar os mistérios por trás do invisível, desenvolvem-se os estudos sobre o ar atmosférico no século XVII, pois tal modelo de pensamento se mostrou tão poderoso na construção de estudo para os grandes corpos, que assegurava uma explicação nos mesmos moldes para a parte invisível do universo (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Pseudo-experimentos sobre o vácuo foram feitos durante o Renascimento e um dos mais discutidos foi o da clepsidra, em que Telesio e Patrizi utilizaram tal experimento a favor do vácuo. Martins (1989) destaca que a descrição de fatos imaginários para explicar os fenômenos, sem investigar a natureza através da observação ou do experimento, foi um erro cometido tanto pelos defensores quanto pelos adversários ao vácuo (MARTINS, 1989).

Dentre as importantes influências de Boyle, temos Francis Bacon como um progressista que negava a ideia do vácuo, demonstrando em sua obra que aceitava a ideia do “horror ao vácuo”, conforme Martins (1989). Mas além de Bacon, temos Descartes, que pode ser considerado o maior representante da oposição ao vácuo no século XVII. Em sua obra *Princípios da Filosofia*, Descartes discute a natureza dos corpos materiais e em seguida nega a existência de vazios nos corpos, explicando fenômenos como condensação de rarefação, através de sua ideia de “éter”, discutida anteriormente. Vale destacar que Descartes não discute em suas obras sobre evidências experimentais contra ou a favor do vácuo, Martins (1989) destaca que, para ele, basta a razão para ter certeza de que um espaço sem substância é impossível.

O início da crença racional no vácuo e na pressão atmosférica foi a partir da derrota experimental da tradição, geralmente atribuída a Pascal e Torricelli. Já as especulações que levaram ao experimento de Torricelli foram atribuídas a Galileu. De acordo com Martins (1989), existem duas linhas investigativas que levam ao barômetro, uma delas é a ideia de que

o ar possui um peso e produz pressão, a outra seria a descoberta de fenômenos em que um espaço vazio é de fato produzido e as consequentes investigações sobre sua natureza e causa (MARTINS, 1989).

Toricelli e Viviani repetiram a experiência feita por Gasparo Berti, que construiu um barômetro acima de trinta pés, a fim de testar a hipótese de Galileu sobre o assunto. De acordo com o princípio da *fuga vacui*, não poderia existir vácuo e o exemplo para chegar a tal conclusão era o da subida da água por uma coluna onde o ar havia sido retirado em uma tentativa de o líquido cobrir o espaço vazio deixado pelo ar, o que era conhecido como produto do “horror” da natureza pelo vazio (MARTINS, 2001).

Dessa forma, segundo Alfonso-Goldfarb (1987, p. 194), essa corrida do líquido na coluna para cobrir a possível formação de um vazio foi criticada por Galileu, que acreditava que se tal fuga existisse, seria fixa e tal limite só poderia ser calculado no máximo em trinta pés, o que foi comprovado através do experimento de Berti (MARTINS, 1989; ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Os dois discípulos de Galileu construíram um barômetro e substituíram água por mercúrio, esperando que se Galileu estivesse correto, devido à densidade do mercúrio, a coluna iria subir muito menos do que a água, logo, o experimento foi um sucesso, sendo reconhecido por toda Europa. Posteriormente, Pascal desenvolveu vários experimentos utilizando barômetros e o mais famoso deles era conhecido como “a subida da montanha”, no qual Pascal mediu a coluna de mercúrio na base e depois, no topo de uma montanha, encontrando diferenças significativas em suas medidas. Esse experimento público determinou que em regiões altas ocorria a diminuição da pressão atmosférica, teoria formulada por Pascal a partir dos dados obtidos com o experimento (MARTINS, 1989; ALFONSO-GOLDFARB, 1987). Em sua obra *Tratados em Pneumática*, Pascal resume as novas ideias, como destaca Alfonso-Goldfarb (1987, p. 195):

No tratado precedente relatei todos os efeitos que até agora se acreditavam produzidos pela Natureza para evitar o vazio e coloquei em destaque que seria absolutamente falso que tais aconteçam por esta razão imaginária. Pelo contrário, apoiado por argumentações e experimentos absolutamente convincentes, demonstrei que o peso da massa do ar é a única e verdadeira causa destes, de tal forma que está fora de qualquer dúvida que a Natureza não produz efeito algum a fim de evitar o vazio.

Pascal, então, comprova de forma experimental que a Natureza não evita o vazio, ou seja, não existiria o “horror ao vácuo” no qual alguns filósofos acreditavam, seria um absurdo conceber na natureza “vontades”, “paixões” ou “horrores”, destaca Alfonso-Goldfarb (1987),

de acordo com Pascal. Partindo de diversos dados experimentais, Pascal ainda constrói uma teoria quantificada, tratando o ar, a partir daí, como um fluido.

Otto von Guericke, tentando retirar excesso de água do vinho, bombeia o ar dos tonéis, através de um equipamento que se transforma na primeira bomba de vácuo já construída. Tal “fenômeno” foi notado por Boyle, que percebeu sua relevância em futuros experimentos na área da pneumática. Boyle pretendia melhorar o design do dispositivo de Otto von Guericke, descrito por Caspar Schott em sua *Mechanica hydraulico pneumatica* de 1657 (ALFONSO-GOLDFARB, 1987; SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Boyle construiu sua versão da bomba com a ajuda de Robert Hooke, que foi seu assistente e discípulo, apresentando à sociedade em maio de 1661. Depois disso, a demonstração e a reivindicação das descobertas do "motor pneumático" tornaram-se centrais para a vida corporativa da sociedade (HUNTER, 2015). Um modelo da bomba de Boyle pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Primeira bomba de vácuo feita por Robert Boyle.



Fonte: Robert Boyle (1682)

Segundo Alfonso-Goldfarb (1987), a bomba de vácuo consistia em uma cúpula de vidro hermeticamente fechada por uma chapa de latão. A retirada de ar era feita através de uma bomba cremalheira a pinhão, operada manualmente através de válvulas. Um barômetro era acoplado a ela para efetuar as medidas da variação da pressão do ar. Uma pequena janela removível era utilizada para colocar objetos a serem experimentados no vácuo (ALFONSO-GOLDFARB, 1987; SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Westfall (2001) destaca que, após as experiências de Pascal, não era mais possível defender que o barômetro não funcionava como uma simples balança mecânica, porém a

invenção da bomba de vácuo levou Robert Boyle a desenvolver uma concepção diferente. Segundo o Westfall (2001, p. 47):

Quando se introduzia um barômetro no interior da uma bomba, embora inicialmente a coluna de mercúrio se encontrasse à altura normal, o mercúrio ia descendo à medida que o ar era extraído. Não se podia estar perante um equilíbrio de pesos, porque o peso no interior da bomba era apenas uma fracção do peso do mercúrio. Numa outra experiência, uma bexiga contendo uma pequena quantidade de ar expandiu-se continuamente à medida que o interior da bomba se esvaziava.

Esses fenômenos levaram Boyle a sugerir que o ar era um fluido elástico que se expandia quando se removia barreiras externas. Por conta de sua elasticidade, o ar exerce uma pressão, que conseqüentemente era a pressão do ar, e não apenas seu peso, que mantinha a coluna de mercúrio do barômetro. Boyle, então, referiu-se à elasticidade como “a elasticidade do ar”, imaginando que cada partícula de ar fosse uma pequena mola que poderia ser comprimida por uma força externa (WESTFALL, 2001).

Usando esse dispositivo, Boyle demonstrou que o som de um sino em uma câmara de vácuo desaparecia quando o ar era removido, provando assim que o ar era necessário para a transmissão do som. Em outras experiências, ele também testou a premissa de que o ar era necessário para a vida e para uma chama de vela. Boyle achava que esses experimentos confirmavam uma visão mecânica da natureza que se opunha à abordagem aristotélica não-empírica da ciência, na qual apenas a lógica era aplicada para elaborar uma teoria (BOYLE, 1682; SHAPIN E SCHAFFER, 2011).

Boyle (1682, p. 828) descreve os efeitos do vácuo em animais em um experimento que fez com uma borboleta:

I put a butterflie into an empty receiver, and it was almost 3 hours before she was wholly deprived of her faculty of motion; at length, perceiving him to lie unmoed, i let in the air into the receiver, and in a little time the butterflie recovered his motion. Then i bound him by one of his horns with a thred, and so hanged him in the receiver, and then he was carried very freely from one part of it unto the other, by clapping his wings; but after the air was extracted, the clapping of her wings was in vain, for she could not move the thred in the least, from being perpendicular.

Nesse experimento, Boyle percebe que ao colocar a borboleta em um recipiente privado de ar, a mesma perde seu movimento, o que gera a suspeita de que os animais podem morrer no vácuo, ou seja, no ar existia algum componente essencial para a vida.

Experimentos feitos com respiração, som e combustão, por exemplo, provaram a necessidade do ar para o desempenho de tais fenômenos. Dessa forma, Boyle divulga os primeiros experimentos em pneumática, juntamente com a descrição da bomba de vácuo, em

1660, num tratado chamado *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air and its Effects*. Aos que obtiveram o livro, foi possível a construção de sua própria bomba de vácuo, tornando-o um sucesso e os experimentos passaram a ser conhecidos como “vácuo boyleano” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987; SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

A publicação das experiências de Boyle nesse tratado originou um contra-ataque por parte do jesuíta inglês, padre Linus, que rejeitava o conceito da elasticidade do ar e também pelo filósofo Thomas Hobbes, com o qual Boyle teve uma longa discussão. Segundo Westfall (2001), Linus indicou a consequência aparentemente absurda do conceito de Boyle, nomeadamente que o ar devia ser sujeito a uma compressão e expansão adicionais. Westfall (2001, p. 47) destaca:

O desafio foi um convite à imortalidade de Boyle, uma vez que as investigações que daí resultaram terminaram no enunciado da Lei de Boyle. Curvando a extremidade fechada de um tubo de vidro em forma de U e mantendo nele algum ar, acima do mercúrio, podia submeter o ar a várias pressões atmosféricas deitando mercúrio no outro braço. O volume do ar era facilmente medido pelo comprimento do espaço que ocupava e surgiu de imediato a relação recíproca entre a pressão e o volume que se previra antes do início da experiência.

A partir daí, chegamos ao que torna Boyle realmente conhecido nos livros didáticos, sua lei para a transformação isotérmica, a conhecida Lei de Boyle. Vimos, entretanto, que houve, muito antes disso, diversas discussões e contribuições que o mesmo trouxe à ciência Química. As críticas que Boyle sofreu por suas publicações serão discutidas com foco em Thomas Hobbes no capítulo seguinte.

Também usando a bomba de vácuo, Boyle descobriu que "ar fixo"¹³ estava presente em todos os vegetais. Através de outros métodos experimentais, principalmente o uso de limalhas de aço e ácido mineral forte, ele também encontrou hidrogênio. Boyle também está entre os primeiros a notar que todos os ácidos, não apenas alguns, realizavam a mudança de cor nas substâncias usadas como indicadores. No entanto, sua maior conquista, além de sua influência no pensamento científico, foram seus escritos. Na sua morte, em dezembro de 1691, Boyle deixou uma quantia em dinheiro para a fundação das Palestras Boyle, um grupo de sermões que foram destinados para a disputa do ateísmo. Robert Boyle abriu o caminho para futuros cientistas, mudando seus métodos de experimentação, pensamento e perspectivas sobre a química como um todo, para sempre.

¹³ “Ar fixo” seria a denominação dada ao atual dióxido de carbono, por Joseph Black em 1754.

4.3 Boyle *versus* Hobbes

A grande popularidade acabou gerando críticas, que geraram ataques a Boyle pelo modelo “mecanicista” do ar em sua teoria. Boyle estava entre os seguidores mais eminentes do programa baconiano, e a filosofia experimental, empirista e indutivista dependia da geração de fatos (*the matters of fact*) que eram objetos da experiência perceptiva (SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Muitas das questões e dificuldades enfrentadas por esse programa podem ser vistas em sua controvérsia com o filósofo Thomas Hobbes (1588-1679) sobre o caráter do conhecimento na filosofia natural.

Thomas Hobbes foi um teórico político, filósofo e matemático inglês. Nasceu em Westport, na Inglaterra e sua infância foi marcada pelo medo da invasão da Inglaterra pelos espanhóis (na época da rainha Elizabeth I). Seu pai era um clérigo anglicano, que abandonou a família após brigar com outro clérigo e, por conta disso, Hobbes foi criado por um tio. Hobbes teve ligação com a monarquia inglesa durante toda sua vida. Tornou-se preceptor de William Cavendish, o que o levou a ficar amigo da família por toda a vida. Conheceu Galileu e Descartes, foi secretário de Francis Bacon, porém desdenhava do experimentalismo, tanto de Galileu quanto de Bacon (ANDERY; MICHELLETO; SÉRIO, 1996).

Hobbes desenvolveu uma concepção de homem que estava associada e deu origem à sua concepção política e às suas propostas sobre governo e Estado. Dois aspectos marcam sua concepção: ao formular sua proposta política, procurou fundamentá-la filosoficamente e procurou argumentar a favor da necessidade de um Estado governado por um monarca absolutista e laico. Isso lhe valeu o atributo de filósofo da política e o fez passar para a história como defensor do absolutismo como forma de organizar o Estado¹⁴.

Segundo Andery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 219), Hobbes afirma que o homem estava sujeito a três grandes causas de discórdias, sendo consideradas como características humanas dadas pela natureza, às quais associava três objetivos:

[...] a busca do lucro, a busca da segurança e a busca da reputação eram finalidades humanas básicas às quais associavam a competição, a desconfiança e a glória. A busca desses três objetivos era responsável pela guerra e destruição, que Hobbes supunha inerentes ao homem vivendo em estado natural.

¹⁴ Branco (2004, p. 36) argumenta sobre a teoria do Estado de Hobbes, em que nela: “as crenças, a moral, as verdades de cada homem, isto é, suas consciências, não têm nenhuma aplicação na realização das leis pois elas são feitas, exclusivamente, “pela vontade daquele ou daqueles que têm o soberano poder”.

Dessa forma, Andery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 219) afirmam que, para Hobbes, havia duas leis fundamentais da natureza que eram a garantia da sobrevivência do homem: a primeira levava o homem a buscar a paz por todos os meios possíveis, mesmo que um desses meios fosse a guerra¹⁵; e a segunda levava o homem a abrir mão de todos os seus direitos desde que todos os homens fizessem o mesmo. Para se abrir mão dos próprios direitos, deveria renunciar a eles ou transferi-los para alguém, tal transferência significava garantia de sobrevivência e se fazia, portanto, uma necessidade do homem, a qual Hobbes chamou de “contrato social”, visto como a base da constituição do Estado. O Estado para Hobbes poderia ser “instituído” quando uma multidão escolhia seu governante, reconhecendo a legitimidade do soberano.

De acordo com Andery, Michelleto e Sérgio (1996), motivado pelas preocupações políticas, Hobbes desenvolveu um grande interesse pela filosofia, pois viveu na Inglaterra em um período um tanto conturbado, marcado por uma série de disputas políticas causadas pelo embate entre as forças parlamentaristas e as forças da nobreza absolutista. Sua obra e sua vida estiveram sempre ligadas a tais questões. Portanto, Hobbes foi um pensador ativo que defendia ideias absolutistas. Andery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 211) destacam que Hobbes:

Elaborou um sistema no qual o estudo da sociedade e as propostas políticas associavam-se ao estudo e às propostas sobre o processo de produção de conhecimento. Hobbes acreditava que todos os seres eram corporais, que o corpo era sujeito de toda ação e que todo corpo existia sempre em movimento.

Hobbes acreditava que os corpos eram postos em movimento, o que o diferenciava de Descartes, pois dizia que o princípio dos corpos era o movimento, e não o repouso, e tais corpos só paravam se fossem pressionados por forças externas. Dessa forma, Hobbes estendeu a noção de movimento para todos os corpos e chamou aqueles que tinham movimento aparente de “corpos animados”, e os que não tinham, de “corpos inanimados”. A compreensão do pensamento de Hobbes sobre universo considera algumas questões, como as noções de corpo, corpo em movimento e de movimento que envolve a ação de uma força externa ao corpo (ANDERY; MICHELLETO; SÉRIO, 1996).

¹⁵ Como destaca Branco (2004, p. 35): “Hobbes, durante a guerra religiosa de seu tempo, via reinar conflitos violentos em virtude da luta pela supremacia das crenças de cada partido, seita e igreja. Cada homem invocava sua consciência para lutar pela sua religião, seus valores morais, isto é, pela supremacia de seu juízo em relação a todas as matérias. Se cada indivíduo invocava ou exteriorizava o seu foro íntimo para defender seus valores, seus objetos de paixão, não é de se surpreender que, em razão da pluralidade de crenças proveniente da natureza humana, predominasse a discórdia.”

Segundo Andery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 212), para Hobbes, o conhecimento era possível “porque os homens eram capazes de ter sensação, imaginação e entendimento”. Chegar à imaginação ou ao pensamento a partir das sensações era um mecanismo, segundo Hobbes, que envolvia processos comuns aos animais e ao homem e, dessa forma, tais capacidades eram naturais à espécie humana e serviam de base a todo o conhecimento produzido pelo homem.

A sensação¹⁶ era um processo mecânico, baseado nas noções de movimento e de seres corporais, ou seja, os objetos sensíveis afetavam os órgãos sensoriais de forma a se produzir a sensação nos seres vivos, algo que vinha do objeto. Com relação a imaginação, Hobbes (1973, p. 11) afirma:

A imaginação nada mais é, portanto, senão uma sensação diminuída, e encontra-se nos homens, tal como em muitos outros seres vivos, quer estejam adormecidos, quer estejam despertos.

Para Hobbes, todo conhecimento humano dependeria desses dois processos básicos, o que mostra que a concepção de movimento mecânico foi estendida ao conhecimento. Andery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 214) destacam que:

Nos dois processos o movimento é provocado por um agente externo (por exemplo, um objeto), que, atuando sobre uma parte do organismo (por exemplo, os órgãos do sentido), passa a produzir uma série de deslocamentos, sempre mantidos da mesma forma (por exemplo, a pressão por diversas vias chega ao cérebro).

Tal concepção de movimento sustentou a descrição das “cadeias de pensamentos ou imaginações” de Hobbes, que eram divididas em dois tipos: cadeias livres e cadeias reguladas. Nas cadeias livres, os pensamentos pareciam não ter uma direção determinada e, nas cadeias reguladas, os pensamentos eram regidos por uma finalidade (ANDERY; MICHELLETO; SÉRIO, 1996).

As cadeias reguladas possuíam ainda duas divisões, que segundo Hobbes (1973, p. 21):

[...] uma, quando a partir de um efeito imaginado, procuramos as causas, ou meios que o produziram, e esta espécie é comum ao homem e aos outros animais; a outra é quando, imaginando seja o que for, procuramos todos os possíveis efeitos que podem por essa coisa ser produzidos ou, por outras palavras, imaginamos o que podemos fazer com ela, quando a tivermos.

¹⁶ É importante destacar que Hobbes concorda com Aristóteles com relação à origem sensível das ideias que estão em nosso intelecto. Em razão dessa origem, não podemos conhecer o infinito, pois todo conhecimento é finito e dependente das coisas que aparecem aos nossos sentidos. Por conta disso, Deus, um ser infinito, não é objeto de conhecimento, mas de crença (ZEBINA, 2003).

Dessa forma, percebemos que, para Hobbes, o conhecimento científico dependia das sensações e da imaginação ou pensamentos, material sobre o qual se construía o conhecimento. Porém, além disso, Hobbes também dava grande importância à linguagem, da qual o conhecimento científico também era dependente, pois a linguagem era um instrumento necessário para representação desse material (ANDERY; MICHELLETO; SÉRIO, 1996).

Andrery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 216) afirmam que mesmo que a linguagem fosse necessária para o processo de produção de conhecimento, não deveria passar de um instrumento de representação do pensamento, pois “a caracterização que fazia da linguagem e o papel que atribuía a ela na produção do conhecimento têm lhe valido o adjetivo de nominalista.” Hobbes estabelecia uma relação íntima entre linguagem e critério de verdade e entre linguagem e ciência, para Hobbes (1973, p. 23):

[...] o verdadeiro e o falso são atributos da linguagem, e não das coisas. E onde não houver linguagem, não há nem verdade nem falsidade. Pode haver erro, como quando esperamos algo que não acontece, ou quando suspeitamos algo que não aconteceu, mas em nenhum destes casos se pode acusar um homem de inveracidade. (...) na correta definição de nomes reside o primeiro uso da linguagem, o qual consiste na aquisição de ciência; e na incorreta definição, ou na ausência de definições, reside o primeiro abuso, do qual resultam todas as doutrinas falsas e destituídas de sentido (...) A sensação e a imaginação naturais não estão sujeitas a absurdos. A natureza em si não pode errar; e à medida que os homens vão adquirindo uma abundância de linguagem, vão-se tornando mais sábios ou mais loucos do que habitualmente.

A linguagem, portanto, é considerada um instrumento necessário, mas não suficiente, pois a ciência deveria buscar explicações, buscar descobrir as relações causais entre os fenômenos de forma que se pudesse saber como e quando ocorreriam e, para Hobbes, tais relações só eram alcançadas pelo uso da razão. A razão para Hobbes seria constituída de operações que possibilitam reproduzir o pensamento (ANDERY; MICHELLETO; SÉRIO, 1996).

Dessa forma, o conhecimento científico dependia de processos que eram habilidades naturais à espécie humana e de processos como raciocínio e linguagem. Nas palavras de Hobbes (1973, p. 30):

[...] a ciência é o conhecimento das consequências e a dependência de um fato em relação a outro, pelo que, a partir daquilo que presentemente sabemos fazer, sabemos como fazer qualquer outra coisa quando quisermos, ou também em outra ocasião. Porque quando vemos como qualquer coisa acontece, devido a que causas, e por que maneira, quando causas semelhantes vierem ao nosso poder, sabemos como fazê-las produzir os mesmos efeitos.

Andery, Michelleto e Sérgio (1996, p. 220) destacam que Hobbes afirma que tudo – conhecimento, homem, sociedade, natureza – está submetido a leis mecânicas determinadas:

A separação entre fé e razão lhe permitiu defender um Estado laico, sua visão determinista e mecanicista de mundo lhe permitiu defender um Estado forte e absolutista.

Zebina (2003, p. 247) argumenta que a filosofia¹⁷ de Hobbes é profundamente humana, pois não possui nenhum fundamento ontológico que se estenda, igualmente, ao pensamento político, ou seja, “Deus não é o fundamento do saber nem o fundamento do poder”. Para Hobbes, o conhecimento é estruturado a partir do artificialismo da linguagem, por meio da atribuição de nome às coisas e, a partir deles, constitui a significação e a verdade. Então, a política também se estruturará na convenção e no artificialismo. Portanto, Zebina (2003, p. 247-248) destaca:

Deus não poderá ser o fundamento do poder ou do Estado. Nesse sentido, o argumento cartesiano que nos mostra a função epistemológica de Deus será rechaçado por Hobbes, pois, segundo ele, não concebemos nem a ideia de infinito e nem a ideia de Deus. Consequentemente, Deus é objeto de fé, e o conhecimento, objeto da ciência. A verdade e a falsidade dependerão de um uso adequado das palavras e das proposições, e não das coisas. Com isso, as proposições universais e necessárias da ciência não terão mais um valor ontológico, mas um valor gnosiológico.

As doutrinas metodológicas de Hobbes tiveram pouca influência, exceto na medida em que foram objeto de ataque por membros da Royal Society. Cientistas continentais que trabalham na tradição de Descartes compartilhavam tanto o compromisso de Hobbes com o plenismo quanto sua confiança em hipóteses para explicar fenômenos, mas Hobbes tinha pouca ou nenhuma influência direta no desenvolvimento da ciência continental (SORELL, 1996).

Sua concepção de ciência natural dá lugar de destaque às deduções dos primeiros princípios mecanicistas e minimiza o papel do experimento. Tal programa está fundamentalmente em desacordo com a metodologia "experimentalista" predominante na Grã-Bretanha nos anos 1660 e 1670. Hobbes atacou as "Novas Experiências Físico-Mecânicas" de 1660, de Boyle. Essa troca levou a outras e a reputação, outrora considerável de Hobbes como filósofo natural, foi destruída na controvérsia que se seguiu (SORELL, 1996).

Para Boyle, o conhecimento da natureza deve ser descritivo e baseado em consenso. O objetivo da investigação experimental tinha que ser o estabelecimento de questões de fato e não

¹⁷Leite (2005, p. 20) afirma que “a questão é que o modelo do estado de natureza apresentado por Hobbes se insere em uma definição de ciência bem distinta da realista, definição esta que é precedida pela crença de que as coisas às quais damos nomes são individuais e singulares, “[...] nada havendo no mundo universal além de nomes [...]”

a descoberta de suas causas subjacentes. Hobbes, por outro lado, argumentou que o conhecimento deveria ser demonstrativo, causal e necessário. Assim, a produção experimental de efeitos artificiais não poderia levar ao conhecimento verdadeiro, porque a inferência do efeito para a causa é sempre hipotética (SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Em suas *Novas Experiências Físico-Mecânicas*, Boyle descreveu experimentos realizados com a bomba de vácuo, que foram construídos de tal maneira que o ar poderia ser evacuado de um recipiente de vidro, chamado de receptor, no qual vários objetos poderiam ser envolvidos e manipulados. Ele não afirmava e nunca diria que um verdadeiro vácuo foi criado no receptor. Em vez disso, o espaço no receptor "não era um espaço, onde não há corpo algum, mas tal como é completamente ou quase totalmente desprovido de ar". Seu propósito primordial é relatar as centenas de experimentos realizados com a bomba, e a máquina demonstraria que a "fonte" do ar, sua capacidade de ser condensado e rarefeito, era responsável por muitos fenômenos que haviam sido anteriormente explicados por várias doutrinas plenistas a respeito da aversão da natureza por um vácuo (SARGENT, 1995).

Ao longo do caminho, Boyle descreveu dois conjuntos de experimentos sobre os efeitos que seu vácuo experimental obteve nas chamas das velas e na vida dos animais. Depois de repetir esses experimentos muitas vezes e variando os tipos de velas e animais fechados, ele observou que, em todos os casos, a chama ou a vida do animal era extinta pelo menos dez vezes mais rápido quando o receptor estava exausto do que quando os objetos eram meramente selados no receptor não exaurido. Boyle especulou que uma "certa quintessência vital" no ar era necessária para suportar tanto a respiração quanto a combustão. Ele também concluiu que esses resultados validaram a integridade de sua máquina ao apoiar sua afirmação de que o ar atmosférico havia sido bombeado para fora do receptor (SARGENT, 1995).

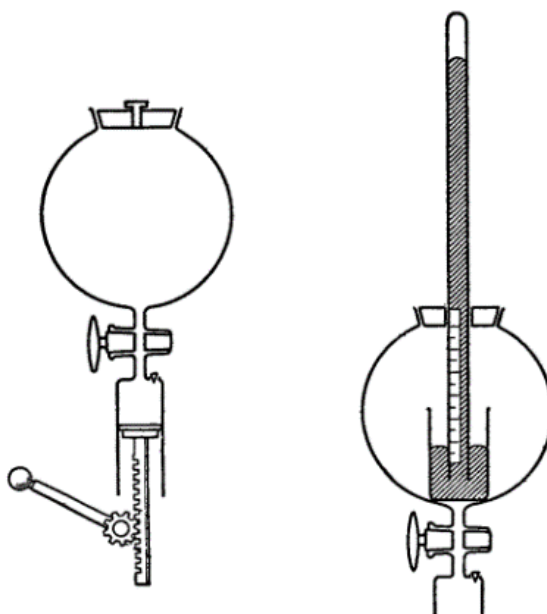
Hobbes discordou. Ele afirmou que, quando a sucção foi aplicada à máquina de Boyle, o ar não podia deixar o receptor, uma vez que, estando o mundo cheio, não teria para onde ir. Em vez disso, o que aconteceu foi que o ar dentro do receptor foi colocado em uma agitação violenta pela ação de bombeamento, o que aumentou a "consistência" do ar fechado, de modo que se aproximou da densidade da água (SARGENT, 1995).

Boyle admitiu que sua máquina estivesse sujeita a vazamentos, mas era bem diferente de sustentar que não só o receptor não estava vazio, mas que o ar interno tinha sua densidade aumentada, próxima da densidade da água. Hobbes poderia ter escapado dessas críticas se tivesse consistentemente negado a eficácia da prova experimental, mas ele insistiu que sua teoria poderia explicar todos os fenômenos produzidos pela bomba de vácuo. A parte mais

decisiva da estratégia de Boyle era mostrar que, embora as explicações individuais dadas por Hobbes pudessem parecer inteligíveis, tomadas em conjunto, não eram (SARGENT, 1995).

O experimento de Boyle, “vácuo no vácuo”, e sua interpretação indicam a profundidade de sua experiência, compromisso com o papel do experimento na obtenção de assentimento. Tal experimento consistia em colocar o aparato torricelliano na bomba e depois evacuar o receptor (Figura 4) (SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Figura 4 – Diagrama do dispositivo experimental da experiência de Boyle, “vácuo no vácuo”.



Fonte: Robert Boyle (1985).

Para Boyle, esse experimento ofereceu um exemplo de como era permissível interpretar fatos. Os problemas eram aqueles tradicionalmente associados à experiência torricelliana: a elevação do mercúrio e a natureza do espaço aparentemente vazio. O propósito de colocar o aparato torricelliano no receptor era imitar, e dar uma analogia visível, a tarefa impossível de tentar realizar "o experimento além da atmosfera". Isso levou Boyle a fazer os vários experimentos com ausência de ar, e Hobbes não concordava, pois não aceitava o vácuo, sendo a favor da teoria do “éter” de Descartes. O objetivo de Boyle, na filosofia natural, era diferente do de Hobbes. Enquanto Hobbes começava com os princípios de movimento mais universais e abstratos, Boyle procurou primeiro encontrar as causas intermediárias e os axiomas da natureza (SARGENT, 1995; SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Hobbes desafiou publicamente o trabalho de Boyle, mas, mesmo assim, muitos dos associados de Boyle, incluindo Christian Huygens, insistiram para que ele não perdesse seu tempo respondendo a objeções tão "frívolas". Como Boyle disse, no entanto, não era tanto o

conteúdo das objeções de Hobbes, mas sua fama e maneira confiante de escrever que poderia prejudicar a filosofia experimental nas mentes daqueles que ainda eram estranhos a ela (SARGENT, 1995).

Hobbes argumentou que os experimentos não poderiam estabelecer fatos ou teorias sobre o mundo. Era preciso primeiro encontrar, de um modo "fácil e matemático", a "doutrina do movimento universal e abstrato". Novamente, Hobbes enfatizou o uso da razão natural pela qual as definições e axiomas deveriam ser resolvidos e julgados pelos critérios de consistência e certeza. Há "duas coisas" necessárias para "formular uma hipótese legítima": a "primeira é que seja concebível", a "outra, que, ao concedê-la, a necessidade dos fenômenos pode ser inferida" (SARGENT, 1995).

Na segunda edição das *Novas Experiências Físico-Mecânicas*, Boyle respondeu à crítica metodológica de Hobbes. Ele argumentou que, além dos dois critérios de Hobbes para a aceitação de uma hipótese, ele acrescentaria um terceiro, que não seria inconsistente com qualquer outra verdade ou fenômeno da natureza, além da capacidade de concepção e consistência interna de uma hipótese. A hipótese, portanto, também precisava ser externamente coerente com todas as outras hipóteses e fatos sobre a natureza. Ao aumentar a quantidade de informações para as quais as hipóteses devem ser consideradas, o terceiro critério de Boyle forneceu um padrão muito mais forte para sua aceitação do que o proposto por aqueles que favoreciam o modo de abstração matemática (SARGENT, 1995).

Poucas hipóteses passarão por esse forte padrão, mas, quando encontramos uma que faz isso, temos razão para acreditar que fizemos contato com o mundo e que nossa teoria é mais do que uma mera construção mental. Boyle defendeu esse critério em vários de seus trabalhos publicados. Em particular, ele fez o mesmo tipo de argumento contra o uso que Hobbes faz da análise matemática na filosofia natural (SARGENT, 1995).

Boyle argumentou que, apesar de sua falibilidade, uma demonstração produzida pela ciência experimental é superior àquela produzida pelo modo matemático de raciocínio. Há uma complexidade e sutileza no mundo físico que a matemática pura não é capaz de capturar. A geometria pode produzir um sistema axiomático que garanta a certeza de suas conclusões em virtude de sua estrutura lógica, entretanto Boyle desconfiava de tais alegações de conhecimento porque são construídas sobre suposições e postulados, sobre os quais os homens tendem a cair em erros. A natureza arbitrária dos postulados apresentados por "escritores matemáticos" significava, para ele, que a certeza e exatidão, que é atribuída ao que eles entregam, devem ser restringidas ao que eles ensinam concernente às disciplinas puramente matemáticas, aritmética

e geometria, onde as afeições de quantidade são abstratamente consideradas (SARGENT, 1995).

O alto nível de abstração e generalidade empregado pelos matemáticos tornou suas provas insuficientes para a tarefa da filosofia natural. A matemática é um componente necessário da filosofia natural, mas as provas nas ciências nem sempre podem seguir o modelo matemático da demonstração, porque "há muitas verdades" que, pela natureza das coisas, não são capazes de demonstrações matemáticas ou metafísicas e, ainda assim, temos um título justo para nosso consentimento. Deve-se reconhecer que um assentimento racional pode ser fundado em provas, que não atingem demonstrações rígidas (matemáticas), sendo suficiente que elas sejam fortes o suficiente para merecer a aquiescência de um sábio. Como vimos, a filosofia experimental foi concebida como uma maneira de descobrir e justificar esses tipos de verdades (SARGENT, 1995).

Shapin e Schaffer (2011) argumentam que qualquer comunidade intelectual ou científica existe dentro das forças maiores de uma sociedade e, apesar de toda tentativa da comunidade em permanecer objetiva, as forças sociais têm influência sobre ela de qualquer maneira. Isso teria sido uma má notícia para aqueles que inicialmente formaram a Royal Society, já que esperavam que sua sociedade pudesse existir em uma espécie de vácuo político. Na Royal Society, a comunidade intelectual costumava efetuar os experimentos para certo público, e esse público, ao observar os fenômenos, acabava por "aprovar" tais experimentos. Porém Hobbes acreditava que tal público não era confiável, pois era selecionado de acordo com os interesses internos da sociedade científica.

Shapin e Schaffer (2011) ilustram como a apresentação detalhada e modesta das questões de fato fazia originalmente parte de um programa ideológico. Por meio de sua linguagem "objetiva", deduziu-se que os filósofos naturais eram homens modestos e dignos de confiança que, como grupo, concordava com os resultados de um experimento como probabilisticamente verdadeiros. Esses primeiros "cientistas" foram conscientemente retratados pela antiga Royal Society como "modestos sacerdotes da natureza", muito afastados dos sectários e entusiastas religiosos considerados perigosos para o assentamento da Restauração. Os filósofos naturais que racionalmente concordavam com os resultados de um experimento eram diferentes dos entusiastas religiosos que afirmavam que todo conhecimento era o resultado da revelação individual de Deus (SHAPIN e SCHAFFER, 2011).

Como suas decisões foram tomadas em uma comunidade de colegas praticantes, Boyle alegou que os modestos experimentadores também evitavam o dogmatismo filosófico e político de uma única autoridade. Hobbes, por outro lado, "propôs que os filósofos tivessem mestres

que impusessem a paz entre eles e estabelecessem os princípios de sua atividade” (SHAPIN; SCHAFFER, 2011, p. 339). Hobbes via a decisão de um comitê, particularmente sobre um assunto tão significativo quanto à filosofia natural, como perigosa e, provavelmente, produziria o mesmo tipo de conflito civil e religioso que existia na Guerra Civil Inglesa.

No curso de sua controvérsia, Hobbes e Boyle debateram as implicações das experiências deste último com a bomba de vácuo. Boyle, ao defender seus resultados, afirmou que seus experimentos foram realizados publicamente e poderiam ser replicados à vontade. Hobbes contestou essas alegações e enfatizou a artificialidade dos resultados de Boyle. A crítica de Hobbes foi um exemplo de um ceticismo mais geral em relação aos instrumentos científicos, alguns dos quais criaram fenômenos que não existiam na natureza e Hobbes não era a favor da imaterialidade¹⁸. Por essa razão, sua legitimidade foi contestada. A questão era se eles revelavam processos naturais ou produziam artefatos e, portanto, a natureza era distorcida (SHAPIN e SCHAFFER, 2011).

Parece que Hobbes e Boyle estavam envolvidos em um estreito debate científico sobre como interpretar os resultados experimentais. Shapin e Schaffer (2011) argumentam que mais do que a ciência estava em jogo. Boyle temia que o materialismo radical de Hobbes levasse os homens ao ateísmo. Hobbes, por sua vez, simplesmente não gostava da ideia de postular a existência de entidades invisíveis, pois acreditava que clérigos, por exemplo, poderiam utilizar de argumentos para dominar a sociedade por meio das crenças religiosas.

De acordo com Shapin e Schaffer (2011), o significado do debate Boyle-Hobbes estendia-se muito além da filosofia natural. Os autores destacam que o eventual estabelecimento da "forma de vida" experimental implicou questões sociais e religiosas mais amplas. Em particular, eles argumentaram que o programa experimental de Boyle estava em sintonia com a necessidade de ordem e consenso na Inglaterra durante a Restauração. No final do século XVII, a "filosofia experimental" havia se espalhado pela Europa continental, onde as condições sociais e religiosas diferiam significativamente das da Inglaterra (SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Shapin e Schaffer (2011) nos mostram o precedente histórico de nossa crença de que experimentos são o meio para a verdade científica. Thomas Hobbes geralmente não é lembrado como "cientista", ele foi um filósofo mecanicista na segunda metade do século XVII e um

¹⁸Branco (2004, p. 32) destaca que na teoria política de Hobbes: “o monopólio estatal da crença religiosa significa um indispensável mecanismo de controle das paixões de homens, cujo traço principal consiste em atribuir significado ao ininteligível, a manifestar uma devoção pelos poderes invisíveis que se teme, pelas profecias, pelas sedutoras promessas de salvação.”

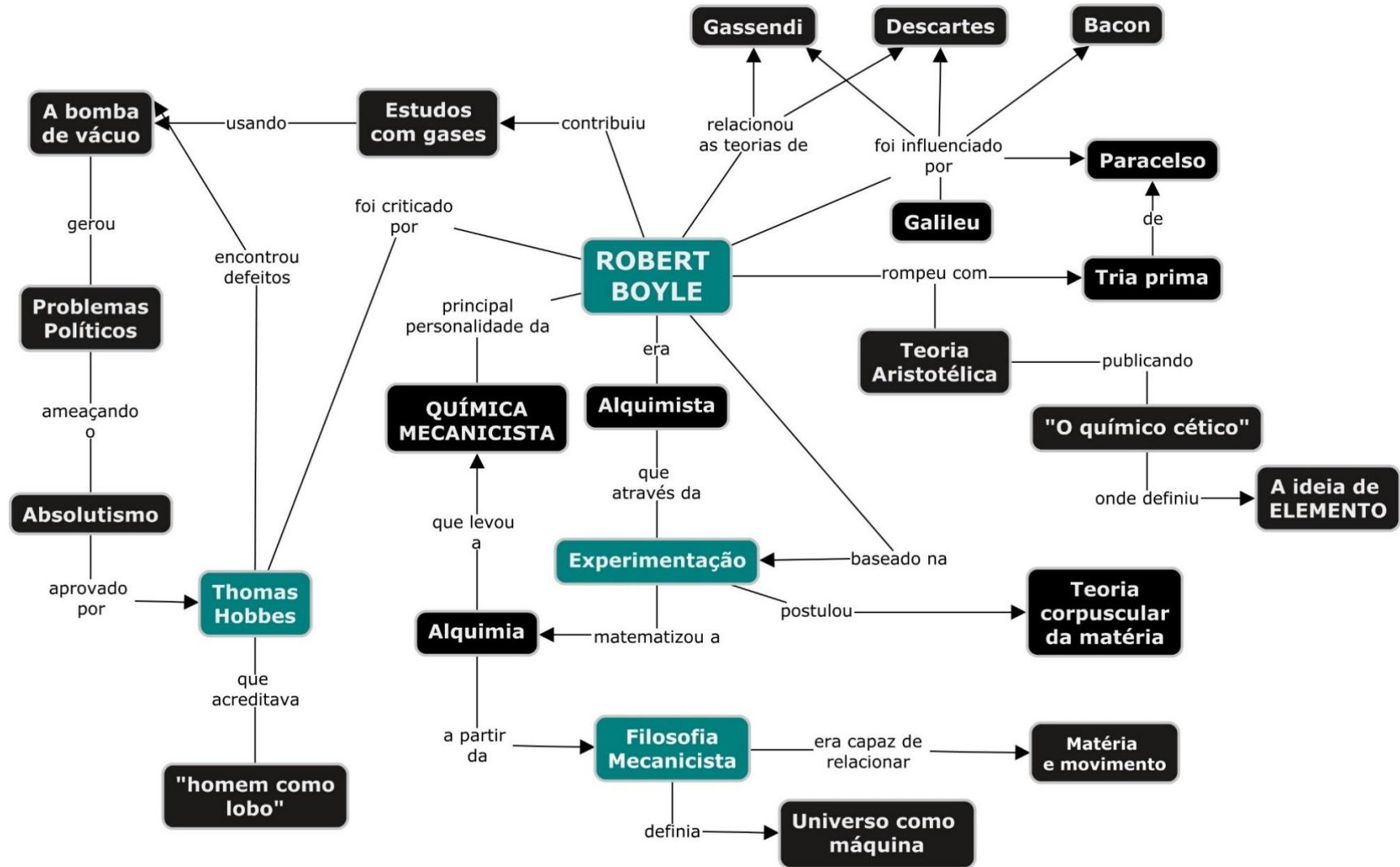
valioso adversário de Boyle. Os autores ainda destacam que o *Dialogus physicus de natura aeris* de Hobbes trouxe a definição de filosofia de Hobbes como um conhecimento certo e artificial (como os axiomas da geometria). Como Shapin e Schaffer (2011, p. 22) observam "na visão de Hobbes, os procedimentos de Boyle nunca poderiam produzir o grau de certeza exigido em qualquer empreendimento digno de ser chamado de filosófico".

A negação de Hobbes ao uso de experimentos pode parecer irracional e o apoio de Boyle ao programa experimental é quase banal, mas, em uma era em que a epistemologia científica estava apenas se desenvolvendo, tais princípios não eram autoevidentes. A reconstrução minuciosa que Shapin e Schaffer (2001) fazem dos experimentos da bomba de vácuo de Boyle indicou que havia de fato mais do que uma maneira razoável de interpretar os resultados, dependendo de acreditar-se ou não na existência do vácuo. Além disso, muitos dos experimentos com a bomba de vácuo de Boyle nunca foram replicados com sucesso por seus pares. Apesar das ilustrações detalhadas de Boyle, seus instrumentos eram difíceis de construir e operar e, como Hobbes notou alegremente, eles vazavam, refutando de maneira eficaz o vácuo que Boyle alegava existir (SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

A crítica de Hobbes ao trabalho de Boyle, certamente, levou a melhorias na "máquina" de Boyle e serviu como um corretivo útil para seus procedimentos experimentais. De fato, a resolução final do debate entre Boyle e Hobbes foi moldada em grande parte por preocupações externas à pneumática. O trabalho de Shapin e Schaffer (2001) nos informa especificamente como o desenvolvimento de Boyle do empreendimento experimental foi conscientemente planejado para dar, a seus praticantes, legitimidade política e religiosa, e hegemonia na Restauração. Por exemplo, em todos os artigos científicos, sabemos que existe uma seção detalhada sobre materiais e métodos que permite ao leitor testemunhar e participar virtualmente dos procedimentos que estão sendo realizados.

Os estudantes de ciências são ensinados que isso permitiria testar a hipótese da comunidade científica maior. O trabalho de Shapin e Schaffer é, portanto, um importante lembrete de que Boyle e Hobbes traçaram conexões entre a História da Ciência (Figura 5) e o pensamento político e também fizeram um argumento provocativo e eficaz de que o conhecimento científico é, em grau significativo, socialmente construído (SHAPIN; SCHAFFER, 2011).

Figura 5 – Mapa conceitual das seções 4.2 e 4.3.



Fonte: Autora (2019)

5 AFINAL, QUEM SERIA O BOYLE NO LIVRO DIDÁTICO?

5.1 Visões distorcidas sobre a Natureza da Ciência

Segundo Neto e Fracalanza (2003), o livro didático expõe diferentes formas de se pensar o conhecimento científico e, além disso, estudos mostram que mesmo com as exigências e critérios estabelecidos pelo MEC, os livros didáticos de ciências apresentam apenas o produto final da atividade científica, ou seja, continuam apresentando o conhecimento científico como um produto pronto e acabado, elaborado por gênios alheios ao sistema político e econômico, desvinculado do contexto histórico-cultural (ALVES; PRAXEDES, 2017; BRICCIA; CARVALHO, 2011).

Dessa forma, Alves e Praxedes (2017, p.11) destacam que “uma contextualização histórica cuidadosa evitaria certas confusões” e proporcionaria uma visão mais equilibrada e menos ingênua de episódios históricos, contribuindo para o desenvolvimento de uma visão de ciência que não cai em simplificações e distorções. Como salientam Alves e Praxedes (2017, p. 12):

A omissão de uma construção histórica do conhecimento científico nos livros didáticos utilizados no ensino de ciência deixa-os em um ponto mediano, ou seja, “entre uma versão adaptada do produto final da atividade científica e uma versão livre dos métodos de produção do conhecimento científico” (NETO; FRACALANZA, 2003, p.154). Por apresentarem essas características, os livros didáticos acabam reforçando problemas como: “equivocos, estereótipos e mitificações com respeito às concepções de ciência, presentes no ensino de Ciências Naturais” (NETO; FRACALANZA, 2003, p.155).

Já discutimos a importância da abordagem histórica no Ensino de Ciências e de Química, também apontamos que quando a mesma não é feita de forma adequada pode causar diversas distorções nas concepções sobre a Natureza da Ciência, tanto em alunos quanto em professores. Neste capítulo, destacaremos as principais deformações relacionadas à Natureza da Ciência e, posteriormente, como podemos combater tais distorções a partir da utilização do texto histórico aqui apresentado.

Antes de analisarmos como os livros didáticos abordam as contribuições de Robert Boyle, precisamos discutir os fatores que acarretam deformidade nas concepções sobre a Natureza da Ciência. Gil-Pérez et al. (2001), há três décadas, já destacavam as principais deformidades encontradas na literatura, e Moura (2014), mais recentemente, algumas características e definições acerca dessas concepções não científicas.

Segundo Moura (2014), a compreensão da Natureza da Ciência é essencial para a formação de professores e alunos mais críticos, integrados à realidade e ao mundo em que vivem. Dessa forma, desde as políticas governamentais até as pesquisas acadêmicas defendem a incorporação de discussões sobre Natureza da Ciência no ensino, sendo a utilização da História de Filosofia da Ciência no ensino uma das formas de promover uma compreensão adequada da Natureza da Ciência. Os estudos historiográficos podem trazer elementos que auxiliam nas discussões a respeito da gênese do conhecimento científico, assim como os fatores internos e externos que a influenciam (MOURA, 2014).

Tanto os estudantes como os professores, de acordo com Moura (2014), não possuem concepções adequadas sobre a Natureza da Ciência ou do pensamento científico. Além disso, em relação aos professores, existem lacunas sobre como construir abordagens que possam promover a superação dessas concepções.

Em geral, não é possível pensar em uma única definição de Natureza da Ciência, pois a mesma envolve um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da Ciência. Moura (2014, p.33) destaca que “a compreensão da mesma significa saber do que ela é feita, como elaborá-la, o que e por que ela influencia e é influenciada.” Portanto, entende-se a Natureza da Ciência como “um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico” (MOURA, 2014, p. 32).

Moura (2014, p. 34-35) discute alguns aspectos consensuais sobre a Natureza da Ciência, resumindo-os em cinco tópicos: 1. A Ciência é mutável, dinâmica e tem como objetivo buscar explicar os fenômenos naturais; 2. Não existe um método científico universal; 3. A teoria não é consequência da observação/experimento e vice-versa; 4. A Ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político, etc. no qual ela é construída; 5. Os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros para fazer Ciência.

Analisando o primeiro aspecto, temos que a Ciência não pode ser considerada um conhecimento estático, que não sofre mudanças, muito pelo contrário, ela está em constante transformação e objetiva-se em compor modelos explicativos para os fenômenos do mundo natural. No segundo, podemos destacar que, para fazer Ciência, não existe um conjunto de regras a serem seguidas, não é como uma “receita de bolo”. Moura (2014, p. 36) destaca:

Certamente o fazer científico se baseia em métodos, mas não em um único. O conhecimento científico é construído com o uso de diversos métodos que envolvem a experimentação, a elaboração e a verificação de hipóteses, as concepções e as expectativas dos cientistas etc.; ou seja, o ponto a ser destacado é a multiplicidade de formas como o trabalho científico é feito, e não exatamente como essas formas se relacionam.

O terceiro aspecto está muito relacionado com o segundo, pois a ideia de uma relação linear entre teoria e experimento fortalecem uma noção superficial do processo de construção do conhecimento científico, como sendo resultado da realização de etapas pré-definidas. Além disso, tal aspecto pode levar ao indutivismo ingênuo, gerando a ideia de que uma observação pode ser imparcial e sempre levar a uma indução limpa e incontestável. Moura (2014, p.34) destaca que “nenhuma observação é livre de uma expectativa ou concepção prévia de quem observa”, o que nos leva a concluir que não existe uma relação bem definida entre teoria e experimento, porém a Ciência não se constrói sem eles (MOURA, 2014).

O quarto aspecto nos mostra que a Ciência não é neutra, podendo ser influenciada pelos contextos ao seu redor, sendo que tanto as ideias científicas quanto os cientistas podem desempenhar um papel importante na aceitação, rejeição e desenvolvimento das ideias da Ciência de acordo com suas concepções, questões da época, local onde vivem e as influências que sofrem. Conforme Moura (2014, p. 36):

A Ciência não está enclausurada em uma bolha, invulnerável aos acontecimentos ao redor. O conhecimento científico é obra humana, e como homens pertencentes a uma sociedade – com seus modelos culturais, políticos, históricos, econômicos etc. –, eles trazem à Ciência suas concepções, crenças e anseios.

Por último, o quinto aspecto, mostra-nos que os cientistas são humanos comuns, pois também cometem erros, são influenciados por suas crenças e expectativas na elaboração e legitimação de suas ideias, além de possuírem qualidades e defeitos, dessa forma, concluímos que não existe um modelo único de cientista, pois cada um se faz dentro de seu próprio contexto (MOURA, 2014).

Dessa forma, estudar a Natureza da Ciência significa compreender como o homem constrói o conhecimento científico em cada contexto e em cada época, tendo como base suas concepções filosóficas, ideológicas e metodológicas. Portanto, segundo Moura (2014, p.38):

[...] introduzir a natureza da Ciência no ensino é importante, por exemplo, para problematizar as visões inadequadas de estudantes e professores sobre a construção do conhecimento científico e para melhorar o aprendizado de conceitos e o interesse pela Ciência.

Portanto, para que essa compreensão seja atingida, precisamos que nossos alunos e professores desconstruam essas concepções inadequadas (PRAIA, GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; GIL-PÉREZ et al, 2001). Gil-Pérez et al (2001) destacaram algumas das principais deformações encontradas na literatura. Segundo Gil-Pérez et al. (2001), a concepção que mais

aparece na literatura é aquela que aponta o papel “neutro” da observação e da experimentação, a qual chamam de empírico-indutivista, pois tal concepção não considera as hipóteses como orientadoras da investigação, assim como as teorias que orientam todo o processo, afetando os próprios cientistas e estudantes.

Igualar a atividade científica à experimentação corresponde à ideia de “descoberta” científica, que tanto aparece nos meios de comunicação, revistas, televisão, cinema, etc. (PRAIA, GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; GIL-PÉREZ et al, 2001). A respeito disso, podemos dizer que, apesar da importância dada à observação e à experiência, o ensino tem se mantido eminentemente livresco. Dessa maneira, Gil-Pérez et al. (2001, p.129) enfatizaram que “a visão dos professores - ou a que é proporcionada pelos livros de textos – não é muito diferente, no que se refere ao papel atribuído à experiência, daquilo que temos denominado de imagem “ingênua” da ciência, socialmente difundida e aceite”.

A segunda deformação encontrada na literatura é aquela que transmite uma visão rígida, algorítmica, exata e infalível da Ciência. Tal concepção apresenta o “método científico” como conjunto de etapas a serem seguidas de forma mecânica, destacando “o que se supõe ser um tratamento quantitativo, controle rigoroso etc., esquecendo - ou, inclusive, recusando - tudo o que se refere à criatividade, ao carácter tentativo, à dúvida” (GIL-PÉREZ et al., 2001, p.130). A respeito dessa concepção, Gil-Pérez et al. (2001, p.131) assinalaram que:

Cabe assinalar que, essa sim, é uma deformação amplamente criticada pelos grupos de professores, até ao ponto de alguns, ao recusar essa visão rígida e dogmática da ciência, fazerem seu um relativismo extremo, tanto metodológico (“tudo vale”, não há metodologias específicas no trabalho científico), como conceptual (não há uma realidade objetiva que permita assegurar a validade das construções científicas: a única base em que se apoia o conhecimento é o consenso da comunidade de investigadores nesse campo).

Além dessa visão rígida, temos a terceira concepção muito ligada a ela, conhecida como visão aproblemática e ahistórica (dogmática e fechada). Tais concepções transmitem os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas, etc., ou seja, trata-se de uma concepção que o ensino da ciência reforça por omissão (PRAIA, GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; GIL-PÉREZ et al, 2001).

Segundo Gil-Pérez et al. (2001), os professores de ciências não fazem referência aos problemas que estão na origem da construção dos conhecimentos científicos e acabam transmitindo a visão aproblemática, que também pode se constatar nos livros-textos.

A quarta deformação foi escassamente tratada pela investigação, consiste numa visão exclusivamente analítica, que destaca a necessária divisão parcelar dos estudos, o seu carácter

limitado, simplificador. Outra visão que também aparecia pouco na literatura, conforme Gil-Pérez et al. (2001), é a que o desenvolvimento científico aparece como fruto de um crescimento linear e puramente acumulativo, ou seja, transmite a visão acumulativa dos conhecimentos científicos por meio de um crescimento linear, o qual ignora crises e remodelações. Tal concepção é uma interpretação simplista da evolução dos conhecimentos científicos, como destaca Gil-Pérez et al. (2001, p.132-133):

[...] a visão acumulativa é uma interpretação simplista da evolução dos conhecimentos científicos, para a qual o ensino pode contribuir ao apresentar os conhecimentos hoje aceites sem mostrar como eles foram alcançados, não se referindo às frequentes confrontações entre teorias rivais, às controvérsias científicas, nem aos complexos processos de mudança.

Essa visão é considerada complementar à visão rígida, que se refere à forma como se concebe a realização de uma dada investigação, como já foi destacado. A sexta visão, uma das mais frequentes e mais tratadas na literatura, é a que transmite uma visão individualista e elitista da ciência. Essa concepção é a que mais aparece nos livros didáticos, onde os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando completamente o trabalho cooperativo, que, segundo Gil-Pérez et al. (2001, p. 133), “faz-se crer que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem ser suficientes para verificar, confirmando ou refutando, uma hipótese ou toda uma teoria.” (PRAIA, GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; GIL-PÉREZ et al, 2001).

A última visão, destacada por Gil-Pérez et al. (2001), é a que transmite uma imagem descontextualizada, tal visão proporciona uma imagem distorcida que considera os cientistas como “deuses”, acima do bem e do mal, sendo alheios à necessidade de fazer opções. Segundo Gil-Pérez et al. (2001), essa visão é considerada socialmente neutra, ou seja, esquecem-se das complexas relações entre ciência, tecnologia, sociedade (CTS). Muitos professores não possuem dimensão da atividade científica que está relacionada ao CTS, Gil-Pérez et al. (2001) afirma que, mesmo que os meios de comunicação social frequentemente tenham feito eco de notícias acerca de problemas do meio ambiente provocados por determinados desenvolvimentos científicos, por exemplo, uma grande parte dos professores não reconhece tal fenômeno.

De acordo com Scheid, Ferrari e Delizoicov (2007), pesquisas revelam que uma visão estereotipada dos cientistas ainda existe entre os leigos, o que contribui para uma imagem do profissional isolado dos problemas do cotidiano. É muito comum, por exemplo, ouvir em comerciais “isto foi cientificamente comprovado”, o que nos mostra que, na sociedade atual, a

ciência é apresentada frequentemente como tendo uma autoridade que legitima muitos produtos, ou atividades. Como destacam os autores (p. 167):

Essa autoridade nasce das relações que constituem a comunidade científica, ou ainda, a autoridade da ciência não é fruto de qualidades abstratas do método científico, mas surge a partir de relações sociais concretas (Susi, 1994). Na ciência, verdade é o que é validado pelas relações que circulam entre os integrantes de uma comunidade científica. Isso corrobora o que Fleck (1986) afirma ser a construção de um fato científico, que se realiza no interior de um coletivo de pensamento, mediado por um estilo de pensar.

Além disso, também destacam que a ciência ocupa um lugar privilegiado na cultura atual e os produtos tecnológicos provenientes dos conhecimentos científicos estão cada vez mais presentes no cotidiano dos cidadãos. Contudo, conforme os autores (p. 166), “a consolidação da democracia vem criando espaços de participação da sociedade em temas polêmicos e que exigem conhecimentos científicos e tecnológicos básicos para a tomada de decisões adequadas” (SCHEID, FERRARI; DELIZOICOV, 2007).

Pode-se afirmar que a imagem positiva que o cientista confere no momento em que precisa ser tomadas decisões em alguns assuntos decorre da suposta neutralidade atribuída ao seu trabalho. Dessa forma, o conhecimento científico é tratado como absoluto e como se o trabalho dos cientistas se resumisse a descobrir verdades (SCHEID, FERRARI; DELIZOICOV, 2007).

Levando em consideração essas ideias, para destacar se tais visões se refletem nos livros didáticos, será apresentada, a seguir, uma análise dos livros de Química aprovados no PNL D 2018-2020 baseada nas visões apresentadas nesta seção.

5.2 Análise dos Livros Didáticos de Química (PNLD 2018-2020)

Ambas as visões apresentadas (quadro 2) são equivocadas e, uma das formas de desconstruir cada uma delas, é a utilização da História da Ciência no ensino. A partir do texto histórico apresentado, discutiremos cada uma das deformações, destacando como podemos combatê-las a partir da HC, mostrando as deformações que aparecem sobre a contribuição de Robert Boyle nos livros didáticos de Química.

Baseados nos aspectos apresentados até aqui, analisaremos como são as visões distorcidas presentes no livro didático, pois diferentes abordagens históricas e imagens de cientistas estão presentes nesses e, no Ensino de Química, essas abordagens podem promover percepções sobre as características e aspectos da época de atuação desses cientistas.

Dessa forma, o foco dessa pesquisa é verificar como Robert Boyle assim como suas contribuições aparecem nos livros didáticos de Química do PNLD, uma vez que as informações do LD podem dificultar a introdução do estudante no contexto da ciência, logo, a qualidade da aprendizagem pode ser influenciada diretamente pelos LD. Discernir entre um e outro pode ser uma dificuldade encontrada pelos professores no momento da escolha e uso desses livros em sala de aula. No quadro 1 está a listagem dos livros didáticos analisados no presente trabalho.

Quadro 1: Coleções de Química PNLD 2018-2020.

Código dos Livros	Referências
LDQ1	Ciscato, C. A. M., Pereira, L. F., Chemello, E., Proti, P. B. <i>Química</i> . 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2016.
LDQ2	Lisboa, J., Bruni, A., Nery, P., Liegel, R. e Aoki, V. L. <i>Ser Protagonista – Química</i> . 3ª ed. São Paulo: SM, 2016.
LDQ3	Mortimer, E. F., Machado, A. H. <i>Química</i> . 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.
LDQ4	Novais, V. L., Tissoni, M., <i>Vivá – Química</i> . 1ª ed. São Paulo: Positivo, 2016.
LDQ5	Reis, M. <i>Química</i> . 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.
LDQ6	Santos, W., Mol, G. <i>Química Cidadã</i> . 3ª ed. São Paulo: AJS, 2016.

Fonte: Autora.

Foram analisados os seis livros didáticos de Química do quadro 1 e, a partir das análises (resumidas nos quadros 2), foi possível mostrar como os mesmos trazem as contribuições de Robert Boyle. Dentre os seis livros, temos aqueles que citam Boyle somente uma vez no livro todo, e nem mesmo no capítulo esperado (gases), mas também temos livros que trazem de maneira incomum algumas das contribuições importantes que o cientista fez.

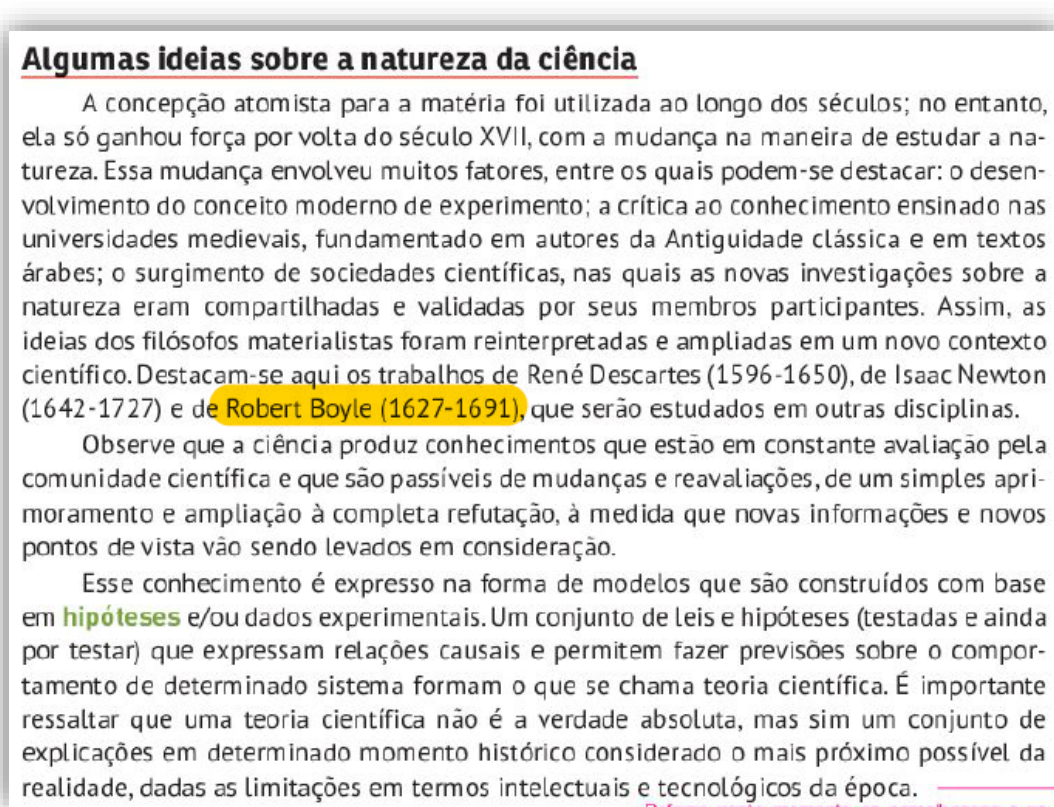
Quadro 2: Resumo da Análise das Visões.

ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS							
Visão Deformada							
Coleção	1 – Empírica-indutivista e ateorica	2 – Rígida, algorítmica (método científico)	3 – Aproblemática e ahistórica	4 – Exclusivamente analítica	5 – Acumulativa (crescimento linear)	6 - Individualista e elitista	7 – Socialmente neutra (CTS)
LDQ1	Endossa a visão ao destacar Torricelli como quem mediu a pressão atmosférica: “para isso ele encheu com mercúrio...”	Tenta combater a visão quando afirma “é importante ressaltar que uma teoria científica não é a verdade absoluta”	Tenta combater a visão quando afirma “um conjunto de explicações em determinado momento histórico considerado o mais próximo possível da realidade”	Endossa a visão pela forma de abordagem simplista tanto de Boyle, como de Torricelli	Combate a visão quando afirma que “a ciência produz conhecimentos que estão em constante avaliação pela comunidade científica e que são passíveis de mudanças e avaliações”	Tenta combater a visão ao destacar contribuições de mais de um cientista para uma mesma teoria ou conceito	Não foram encontrados dados relativos a esta visão
LDQ2	Endossa a visão, destacando Boyle como quem “observou que, quando se dobra a pressão...”	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	Endossa a visão por não citar o problema que levou Boyle a chegar em sua Lei	Endossa a visão, pois aborda Boyle de forma simplista	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	Endossa a visão, como se Boyle tivesse “observado” que a pressão dobra, individualmente, e mais ninguém tivesse colaborado para tal Lei	Não foram encontrados dados relativos a esta visão
LDQ3	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	Tenta combater essa visão quando aborda outros temas, como por exemplo, modelos atômicos	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	Combate a visão ao citar que “o atomismo foi retomado por uma corrente de pensamento...”	Combate a visão quando destaca “gerações posteriores de físicos e filósofos importantes como Galileu, Newton e Boyle usaram essa hipótese...”	Não foram encontrados dados relativos a esta visão
LDQ4	Combate a visão, pois a partir do momento que Boyle “realizou observações, elaborou hipóteses, formulou explicações” o mesmo não é ateorico.	Não cita método científico, mas quando destaca “realizou observações, medidas, elaborou hipóteses...” acaba induzindo o aluno a pensar que essas seriam etapas para se chegar na ciência.	Combate a visão quando destaca “os alquimistas realizavam um conjunto de práticas, que tinha, entre suas principais motivações, a busca por...” Destaca-se também “Boyle realizou experimentos planejados, partindo da elaboração de uma questão que pretendia esclarecer.” Combate a visão quando cita sobre os alquimistas, mostrando que os mesmos contribuíram para química.	Combate a visão antes da abordagem sobre gases, citando Boyle e suas contribuições. Endossa a visão quando cita Boyle de forma simplista quando aborda a transformação isotérmica	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	Combate a visão “diversos cientistas dedicaram-se ao estudo do comportamento do estado gasoso...”	Combate a visão destacando “a importância no estudo dos gases é a invenção da máquina a vapor, fundamental para a Revolução Industrial”
LDQ5	Endossa a visão “essa constatação experimental, conhecida como lei de Boyle-Mariotte, foi determinada em 1662 por Robert Boyle, na Inglaterra.” Endossa a visão “Robert Boyle foi um dos primeiros cientistas a perceber que uma transformação química poderia ser revertida.”	Não foram encontrados dados relativos a esta visão	A partir do texto, do “Manual do Professor”, o livro endossa a visão pois não destaca os problemas acerca das contribuições de Boyle	Endossa a visão “essa constatação experimental, conhecida como lei de Boyle-Mariotte, foi determinada em 1662 por Robert Boyle, na Inglaterra.”	A partir do texto, do “Manual do Professor”, o livro combate a visão “os chamados filósofos naturais, começaram a explicar os fenômenos não mais como faziam os alquimistas...”	A partir do texto, do “Manual do Professor”, combate a visão individualista, porém endossa a elitista: “a história da Royal Society é bastante distinta das demais sociedades que conseguiram vingar nessa época porque possuía independência financeira...”	A partir do texto, do “Manual do Professor”, o livro combate a visão: “isso implicou um início modesto, mas a não vinculação efetiva ao Estado concedeu a essa sociedade a liberdade necessária para desenvolver trabalhos científicos independentemente dos problemas políticos e sociais que ocorressem dentro ou fora da Inglaterra.”
LDQ6	Tenta combater a visão ateorica: “tais estudiosos se fundamentavam em teorias obscuras, mas, aos poucos, novos estudos adotaram métodos experimentais da Ciência moderna e novas teorias foram surgindo para explicar as transformações químicas.”	Endossa a visão ao destacar: “o novo método científico se consolidou e caracterizou o que chamamos hoje de Ciência moderna.”	Endossa a visão ao abordar a Lei de Boyle: “Robert Boyle foi quem iniciou o estudo da relação entre o volume de um gás e sua pressão.” Tenta combater a visão ahistórica no quadro de “História da Ciência” quando aborda brevemente a biografia de Boyle.	Endossa a visão ao abordar a Lei de Boyle: “Robert Boyle foi quem iniciou o estudo da relação entre o volume de um gás e sua pressão.” Combate a visão ao destacar diversas contribuições de Boyle em outros momentos no livro.	Combate a visão ao destacar que Boyle rompe com a teoria aristotélica.	Combate a visão quando cita: “O filósofo inglês Francis Bacon e o filósofo René Descartes estão entre os vários pensadores que contribuíram para o estabelecimento desse modo de pensar: o método científico.” Combate a visão quando destaca o texto sobre a história do atomismo, citando os diversos filósofos pré-socráticos e suas ideias de elemento.	Combate a visão: “O domínio dessas tecnologias possibilitou maiores intervenções no ambiente e contribuiu para melhorar as condições de vida do ser humano.”

Fonte: Autora.

No LDQ1, Boyle é citado no Volume 1, Capítulo 3 “Elementos químicos e tecnologia: modelos sobre a constituição da matéria”, no tema 1 - “Os átomos e os elementos químicos”. Nesse capítulo, os autores iniciam com uma breve introdução sobre as primeiras ideias relacionadas à constituição da matéria, iniciando pelos pré-socráticos, algo incomum presente nos LD. Boyle, então, somente é citado em um pequeno texto intitulado “Algumas ideias sobre a natureza da ciência”. Podemos observar na Figura 6:

Figura 6 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ1.



Fonte: LDQ1.

Infelizmente, essa é a única vez em que Boyle é citado na coleção LDQ1. Percebemos que a abordagem histórica do LDQ1 tenta combater a deformação presente na visão rígida, e também a visão individualista, porém, ao mesmo tempo, acaba pecando em destacar de forma simplista os elementos importantes apontados no texto histórico apresentado nesse trabalho.

Quando o autor afirma que o atomismo ganhou força no século XVII, está claramente referindo-se ao movimento mecanicista, que foi o momento em que houve a “mudança na maneira de estudar a natureza”. O próprio livro destaca: “[...] muitos fatores, entre os quais podem-se destacar: o desenvolvimento do conceito moderno de experimento”, contudo não explica quem desenvolveu ou como foi desenvolvido tal conceito, um momento apropriado

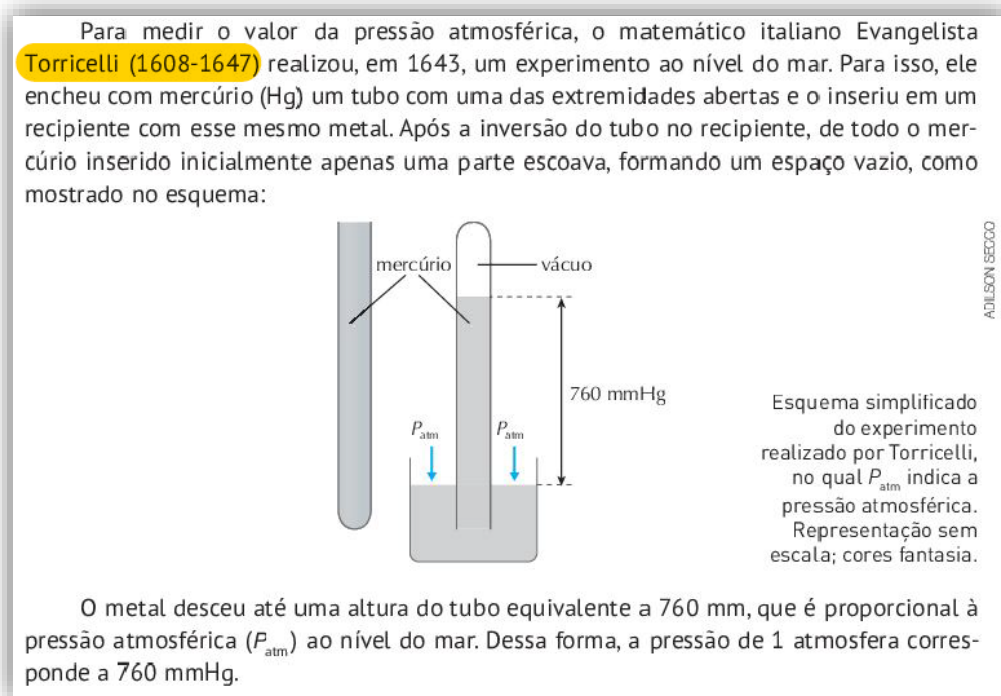
para abordar a figura de Boyle e uma de suas principais contribuições para a ciência. Pode-se destacar no texto histórico (p. 69):

Por conta de ambas as teorias não possuírem um trabalho experimental, Boyle, que considerava ambas valorosas, buscou uma sustentação experimental a partir de sua grande influência, Lord Bacon, para tornar o atomismo um instrumento que comprovaria as ideias “mecanicistas” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Somente com a abordagem presente no livro, o aluno não consegue imaginar que Boyle foi um dos principais contribuintes a empregar a experimentação, não só na Química, como na ciência em si. Ainda a respeito do LDQ1, a coleção não aborda o conteúdo das transformações gasosas, portanto, nem mesmo a Lei de Boyle é citada no material.

No Capítulo 6 – “O gás oxigênio e sua importância para a vida na Terra”, o LDQ1 aborda o conteúdo de gases. Aquele que fez a maior parte dos experimentos relacionados à Pneumática e aos gases não é nem citado em tal capítulo. Os autores trazem a figura de Torricelli, na conceituação de pressão atmosférica de forma aproblemática, rígida e exclusivamente analítica, como podemos observar na Figura 7.

Figura 7 – Trecho do texto onde é citado Evangelista Torricelli no LDQ1.



Fonte: LDQ1.

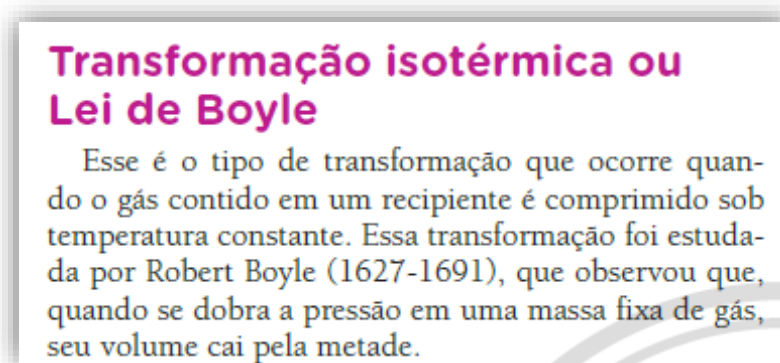
Para distorcer tais visões, sugere-se que, ao abordar a figura de Torricelli, seja feita referência aos problemas que aconteciam na época e que levaram o mesmo a buscar tal experimento, como podemos destacar no texto histórico (p.71):

O início da crença racional no vácuo e na pressão atmosférica foi a partir da derrota experimental da tradição, geralmente atribuída a Pascal e Torricelli. Já as especulações que levaram ao experimento de Torricelli foram atribuídas a Galileu. De acordo com Martins (1989), existem duas linhas investigativas que levam ao barômetro, uma delas é a ideia que o ar possui um peso e produz pressão, a outra seria a descoberta de fenômenos em que um espaço vazio é de fato produzido e as consequentes investigações sobre sua natureza e causa (MARTINS, 1989).

Dessa forma, os estudantes podem compreender melhor o porquê do experimento de Torricelli ser tão importante e sua influência sobre os trabalhos dos demais cientistas da época. Cabe salientar que o Capítulo seria muito mais rico se abordasse tanto as transformações gasosas, onde deveria aparecer a Lei de Boyle, quanto as principais contribuições do mesmo com relação aos experimentos com o ar atmosférico e o vácuo. A filosofia corpuscular de Boyle foi essencial para o estudo dos gases, mas, infelizmente, esse livro não abordou tal conceito.

Continuando a discussão dos livros, no capítulo 9 – “O comportamento dos gases” do volume 1 no LDQ2, temos uma citação a respeito de Boyle, figura 8, na discussão sobre transformação isotérmica, como o cientista que estudou o fenômeno e definiu a Lei de Boyle.

Figura 8 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ2.



Fonte: LDQ2.

Tal abordagem histórica traz consigo visões distorcidas, como a visão rígida, apromblemática e ahistórica, exclusivamente analítica e individualista. Como vimos no texto histórico apresentado, Robert Boyle não foi somente quem definiu a Lei de Boyle.

É importante trazer não somente o contexto onde se realizou tal experimento para postular a Lei, como também os motivos que influenciaram o mesmo a chegar a esse resultado. Por exemplo (p.74):

Esses fenômenos levaram Boyle a sugerir que o ar era um fluido elástico que se expandia quando se removia barreiras externas. Por conta de sua

elasticidade, o ar exerce uma pressão, que conseqüentemente era a pressão do ar, e não apenas seu peso, que mantinha a coluna de mercúrio do barômetro. Boyle então se referiu à elasticidade como “a elasticidade do ar”, imaginando que cada partícula de ar fosse uma pequena mola que poderia ser comprimida por uma força externa (WESTFALL, 2001).

Se Boyle não efetuasse seus experimentos com a bomba de vácuo com o intuito de “provar” sua teoria corpuscular, jamais teria chegado aos resultados para explicar a transformação isotérmica. Tais experimentos eram feitos com seu assistente Robert Hooke, sendo também apresentados na comunidade científica da Royal Society, o que mostra o mesmo não ser individualista como a visão citada traz. A partir daí, percebe-se que antes de chegar à formulação da Lei de Boyle, muitas observações foram feitas, a fim de resolver outros problemas, e não somente o da transformação isotérmica, desconstruindo também a visão aproblemática.

O LDQ2 também cita Boyle no volume 2, capítulo 7 – “Equilíbrio em sistemas aquosos e o pH de soluções”, descrevendo que o mesmo deu início ao uso de extratos naturais como indicadores ácido-base.

Partindo para o LDQ3, no volume 1, capítulo 6 – “Modelos para o átomo e uma introdução à tabela periódica”, temos uma citação sobre Boyle, como podemos ver na Figura 9.

Figura 9 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ3.

A partir do Renascimento, no século XVI, o atomismo foi retomado por uma corrente de pensamento que teria grande sucesso na Física: o mecanicismo, segundo o qual o mundo funcionava como uma grande máquina, precisa e exata. Gassendi (1592-1655) e Mer-senne (1588-1648), filósofos que influenciaram Galileu, foram os primeiros a retomar a hipótese de que a matéria seria constituída por partículas (os átomos). Gerações posteriores de físicos e filósofos importantes como Galileu (1564-1642), Newton (1643-1727) e Boyle (1627-1691) usaram essa hipótese atomista na explicação de propriedades dos materiais.

Fonte: LDQ3.

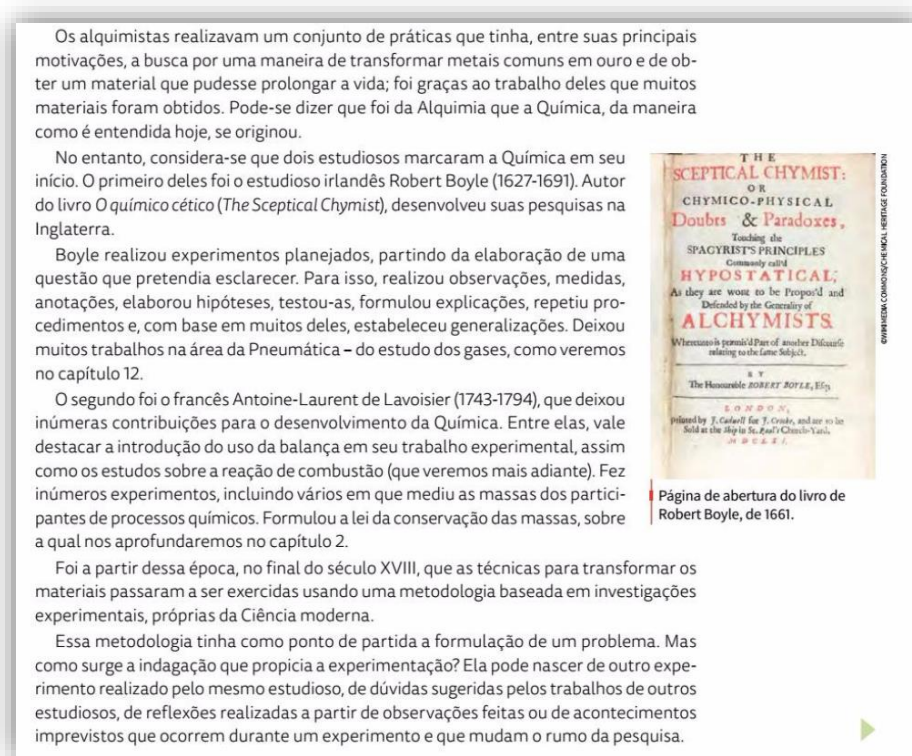
Diferente do LDQ1, o LDQ3 relaciona a retomada do atomismo com a corrente do pensamento mecanicista, o que seria um ponto positivo, além de trazer figuras como Gassendi e Galileu que foram de grande importância no desenvolvimento deste período histórico, como mostrado no texto histórico. Contudo, tal abordagem em relação a Boyle deixa a desejar, pois em todos os volumes da coleção do LDQ3, essa é a primeira e única vez em que o mesmo é

citado, trazendo, novamente, uma visão simplificada sem dar a devida importância às contribuições de Boyle.

Dessa forma, os três primeiros livros fazem referência a Boyle uma única vez ao longo de todos os volumes (1,2 e 3). Em dois deles, Boyle é citado como estudioso da teoria atomista. LDQ1 e LDQ3 não abordam nem mesmo o conteúdo das transformações gasosas. LDQ2 cita Boyle, na apresentação da transformação isotérmica, como cientista que estudou esse fenômeno e definiu a Lei de Boyle. Os outros três livros possuem melhores abordagens da História da Ciência e não trazem somente citações sobre Boyle.

LDQ4, por exemplo, apresenta Boyle como o primeiro estudioso a marcar o início da Química, mostrando que o mesmo fez contribuições na área da Pneumática e citando sua obra “O Químico Cético”, no volume 1, capítulo 1 – “Química: que ciência é essa?”, como introdução ao estudo da Química (Figura 10).

Figura 10 – Trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ4.



Fonte: LDQ4.

Podemos observar também que, além de trazer Boyle em um momento diferente dos outros livros, o LDQ4, aborda os alquimistas, que até então não tinham sido citados nos demais livros. Ainda no LDQ4, Boyle volta a ser citado no capítulo 2 – “Lei das reações químicas e teoria atômica de Dalton” como um dos primeiros cientistas que criaram teorias científicas com base experimental. Indica que o mesmo formulou a Lei de Boyle com base em ideias da filosofia

grega e que, em sua obra “O Químico Cético”, Boyle diferenciou trabalhos de alquimistas e químicos, destacando que Boyle define elemento e conclui que o componente mais simples da Terra era um “elemento” (Figura 11).

Figura 11 – Segundo trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ4.

Os alquimistas legaram à Química, por exemplo, receitas para a obtenção da pólvora, de alguns ácidos, bases e sais e do álcool (por meio da destilação do vinho). Supõe-se ainda que arsênio, antimônio, bismuto, fósforo e zinco tenham sido isolados pelos alquimistas. Também as técnicas de destilação e cristalização (que estudaremos mais adiante), além de equipamentos que utilizavam em seu trabalho, foram importantes contribuições para a Ciência moderna.

Durante o século XVII, no período em que a Química era gestada, alguns estudiosos se valeram de contribuições dos alquimistas – como técnicas e instrumentos de laboratório – e procuraram estabelecer generalizações com base em fatos experimentais. O irlandês Robert Boyle, por exemplo, foi responsável por sistematizar o conhecimento sobre muitos compostos e materiais formados por eles. A partir de experimentos realizados com gases, Boyle retomou algumas ideias dos filósofos gregos e formulou uma lei, que posteriormente ficou conhecida como lei de Boyle e que você conhecerá mais para a frente neste volume. Apesar de os estudos de Boyle terem pressuposto a existência de átomos, passou-se mais de um século para que essa ideia voltasse com John Dalton (1766-1844) de modo mais consistente.

Em seu livro *O químico cético*, Boyle tentou diferenciar os trabalhos desenvolvidos por alquimistas e químicos. Concluiu que o componente mais simples da Terra era um elemento e que dele não se poderia obter nada mais simples. Conhecendo o trabalho de um alquimista que obtivera o fósforo branco da urina, fez o experimento, porém usando o fósforo branco para produzir chama, criando a primeira versão do palito de fósforo.

Foi no final do século XVIII que a Química passou a ter uma fundamentação teórica consistente. Dentre os estudos que contribuíram para isso, podemos destacar os de Antoine-Laurent de Lavoisier. Já no início do século XIX, com a formulação da teoria atômica de Dalton (que veremos no final deste capítulo), a ideia da matéria constituída por corpúsculos indivisíveis, chamados átomos, atinge novo patamar, ao se associar aos trabalhos experimentais quantitativos – aqueles nos quais são realizadas medidas.

Robert Boyle foi um dos primeiros cientistas a criar teorias científicas com base experimental.



Elemento: nos textos que fazem referência aos conhecimentos que antecedem o século XIX, a palavra elemento tem significado diferente do que é atualmente atribuído a elemento químico, conceito que será analisado mais adiante.

Fonte: LDQ4.

A definição de “elemento” foi um dos feitos mais importantes de Boyle, como vimos no texto histórico. Além disso, o livro também aborda Boyle como um dos primeiros cientistas “a criar teorias científicas com base experimental”. Anterior a esse trecho, o livro também retoma as ideias iniciais sobre constituição da matéria, a partir de Tales de Mileto, para explicar o desenvolvimento da Química. Como vimos no texto histórico, Boyle define elemento (p.65):

“Por elemento entendo certos corpos primitivos e simples, ou sem qualquer sinal de mistura; que não sendo compostos de quaisquer outros corpos, ou uns dos outros, são os ingredientes dos quais todos os corpos, chamados perfeitamente mistos, são imediatamente compostos, e nos quais são, em última instância, dissolvidos.” (WESTFALL, p. 74)

Mesmo que o livro traga alguns dos principais feitos de Boyle, para que não fosse desenvolvida uma visão distorcida, seria importante a contextualização de tais acontecimentos, pois a abordagem do LDQ4 possui uma visão individualista e elitista, e como já discutimos, Boyle não foi individualista, porém fazia parte da elite por ser de família rica, o que proporcionou o mesmo a efetuar todos os seus experimentos. O LDQ4 também destaca que Lavoisier baseou-se nos trabalhos de Boyle (Figura 12).

Figura 12 – Terceiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ4.

A definição de elemento químico para Lavoisier

Em seu livro *O químico cético*, Boyle introduziu a ideia de elemento. Baseando-se nas teorias de Boyle, Lavoisier chamou de elemento químico todas as substâncias que não podemos decompor por nenhum processo (por exemplo, aquecimento). Atualmente, o conceito de elemento é bastante diferente e será discutido no capítulo 4.

Fonte: LDQ4.

Ainda em LDQ4, no capítulo 12 – “Gases: importância e propriedades gerais”, o livro descreve também a utilização de balões por Boyle em suas pesquisas, motivado pelo estudo de fenômenos meteorológicos. Aponta, como um exemplo da importância do estudo dos gases, a invenção da máquina a vapor, fundamental para a Revolução Industrial no século XIX.

Esse capítulo traz a Lei de Boyle na visão aproblemática e ahistórica, na visão rígida, exclusivamente analítica, e neutra. Mesmo trazendo conceitos importantes, o livro não deixa de distorcer visões ao abordar essa Lei. E como já discutimos acima, para desconstruir tais visões, é importante trazer elementos do texto histórico, como o problema do vácuo, por exemplo. A abordagem sobre Torricelli, comparada com o LDQ1, pode ser considerada mais “adequada”, como podemos observar no trecho da Figura 13.

Figura 13 – Trecho do texto onde é citado Evangelista Torricelli no LDQ4.

Torricelli e a medida da pressão atmosférica

Inspirados em Aristóteles, durante a Idade Média os cientistas acreditavam que “a natureza tem horror ao vácuo” (vácuo significa “vazio, sem matéria”).

Galileu Galilei (1564-1642), um dos mais importantes estudiosos das ciências de todos os tempos, interessou-se pela questão do vácuo depois que um jardineiro lhe disse que sua bomba era incapaz de elevar a água acima de 10 metros. Um discípulo de Galileu, Evangelista Torricelli (1608-1647), resolveu investigar o limite de altura a que uma bomba podia elevar a água e concluiu que a água subia não para eliminar o vácuo, mas porque era empurrada pela pressão do ar.

Para testar sua hipótese, Torricelli usou, em vez de água, o mercúrio, líquido aproximadamente 13 vezes mais denso do que a água.

Nas figuras ao lado está esquematizado o experimento realizado por Torricelli em 1643.

O experimento nos sugere duas questões cujas respostas são aparentemente contraditórias.

Ao emborcarmos o tubo que contém mercúrio na cuba, o líquido desce. Por quê? O peso do mercúrio é o responsável por esse movimento.

Mas como explicar o fato de que nem todo o líquido sai do tubo quando é emborcado na cuba? Segundo Torricelli, há algo que consegue equilibrar a pressão exercida pelo peso do mercúrio. É a pressão que a atmosfera exerce sobre o mercúrio que está na cuba.

Representação esquemática do experimento de Torricelli. O tubo de vidro é preenchido com mercúrio e tapado com

Fonte: LDQ4.

Nessa abordagem, diferente de LDQ1, o LDQ4 mostra que tanto Galileu quanto Torricelli foram inspirados em Aristóteles por acreditarem que a natureza tinha “horror ao vácuo”, sendo tal observação descrita no texto histórico. Também destacamos a diferença em relação à pequena “contextualização” feita para justificar o estudo do fenômeno observado no experimento. No texto histórico, destacamos (p.71):

Torricelli e Viviani repetiram a experiência feita por Gasparo Berti, que construiu um barômetro acima de trinta pés, afim de testar a hipótese de Galileu sobre o assunto. De acordo com o princípio da *fuga vacui*, não poderia existir vácuo, e o exemplo para chegar em tal conclusão era o da subida da água por uma coluna onde o ar havia sido retirado em uma tentativa de o líquido cobrir o espaço vazio deixado pelo ar, o que era conhecido como produto do “horror” da natureza pelo vazio (MARTINS, 2001).

LDQ5 aborda as contribuições de Boyle somente em textos extras para leitura direcionada ao professor. Nos textos para os alunos, temos a abordagem semelhante aos livros

anteriores. Boyle é citado no volume 1 ao final do livro didático em um espaço destinado à leitura pelo professor, em um texto que discute a neutralidade da ciência pontuando a questão do mecanicismo (Figura 14).

Figura 14 – Primeiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.

<p>O texto a seguir pode ajudar o professor a orientar o trabalho dos alunos.</p> <p>No século XVII surgiu uma nova forma de observar a natureza. Os chamados filósofos naturais, estudiosos da natureza e seguidores das ideias do filósofo inglês Francis Bacon (1561-1626), começaram a explicar os fenômenos não mais como faziam os alquimistas, concebendo o Universo como um organismo vivo, mas considerando tudo como parte de uma imensa máquina. (Um dos princípios da doutrina mecanicista é negar qualquer explicação mágica para os fenômenos naturais.) Por exemplo, para explicar o movimento dos ponteiros de um relógio de pêndulo, precisamos observar que esses ponteiros estão ligados a engrenagens que, por sua vez, estão conectadas a uma mola que é articulada conforme o movimento do pêndulo.</p> <p>Para os filósofos naturais, o estudo de um fenômeno da natureza deveria seguir um enfoque semelhante: procurar</p>	<p>na própria natureza as “peças da engrenagem” que provocam o fenômeno, tentando imaginar como estão conectadas. Essa abordagem do Universo como máquina ficou conhecida como “mecanicismo”.</p> <p>Alguns estudiosos da história da Química defendem a ideia de que a Química não se originou da alquimia, mas surgiu como um movimento diferenciado, a partir do século XVII, com a figura marcante de Robert Boyle e seus estudos de base “mecanicista”.</p> <p>Robert Boyle nasceu no castelo de Lismore, na Irlanda, em 25 de janeiro de 1627. Em 1645, foi morar no castelo de Dorset, na Inglaterra, dedicando-se à Teologia e à Química. Interrompia os estudos apenas para procurar, pela Europa, novos aparelhos para suas experiências. Também estudou anatomia quando esteve na Irlanda.</p> <p>A Química passou a consumir a maior parte de seu tempo e interesse quando começou a procurar um conceito mais</p>
---	--

Fonte: LDQ5.

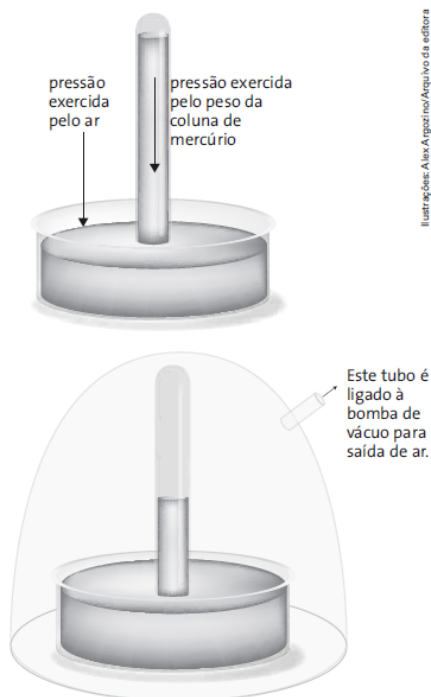
Podemos observar que o texto está presente no “Manual do Professor” e aborda de forma adequada o contexto onde ocorreu o início da experimentação com Francis Bacon e, posteriormente, a mudança de pensamento, início dos estudos mecanicistas. Boyle, então, é abordado como figura “marcante” por seus estudos com base mecanicista. Seria interessante se tais abordagens não estivessem somente no “Manual do Professor”, pois muitos professores se esquecem de utilizar tal recurso presente no LD. Além disso, o texto posteriormente destaca que Boyle preparou o terreno para os estudos e experimentos de Lavoisier e Dalton, e temos também outros elementos importantes que foram relatados no texto histórico, como podemos ver na Figura 15.

Figura 15 – Segundo trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.

preciso de elemento, que ele mesmo havia definido como “os corpos mais simples que constituem os corpos complexos e aos quais finalmente se chega decompondo estes últimos”.

Assim, Boyle preparou o terreno para as pesquisas de Lavoisier e de Dalton.

Nessa mesma época, o físico Otto von Guericke (1602-1686) inventou a bomba de vácuo ou bomba pneumática, um aparelho operado com as mãos para extrair o ar dos recipientes, que permitiu a realização de experimentos extraordinários, além do controle, em laboratório, da pressão exercida pelo ar. Boyle interessou-se muito pelo invento e em 1656 foi para Oxford, onde construiu uma bomba pneumática para suas experiências. Com ela, Boyle tentou aumentar o vácuo no tubo de Torricelli, aumentando o espaço entre a superfície de mercúrio e a parte superior do tubo. Para isso, introduziu a aparelhagem de Torricelli no interior de uma cúpula de vidro conectada a uma bomba de vácuo.



Ilustrações: Alex Artigiani/Arquivo da editora

Rarefazendo o ar no interior da cúpula de vidro, ou seja, reduzindo a pressão do ar exercida sobre a superfície do mercúrio da cuba, constatou que o nível do mercúrio no tubo baixava; o efeito era tanto mais intenso quanto maior o vácuo criado. A partir daí, toda a pesquisa de Boyle foi desenvolvida no sentido de estabelecer uma relação entre a pressão de um gás e o volume que ele ocupa. Sua obra *New Experiments* (Novas experiências físico-mecânicas a respeito das molas pneumáticas e seus efeitos), publicada em 1660, consagrou Boyle aos 33 anos como físico e filósofo.

Nesse ano foi fundada a Royal Society (Real Sociedade de Londres para o Conhecimento Natural), a primeira sociedade científica da Grã-Bretanha e uma das primeiras do mundo.

A história da Royal Society é bastante distinta das histórias das demais sociedades que conseguiram vingar nessa época porque possuía independência financeira, ou seja, os fundos necessários para as pesquisas eram fornecidos pelos próprios participantes. Isso implicou um início modesto, mas a não vinculação efetiva ao Estado concedeu a essa sociedade a liberdade necessária para desenvolver trabalhos científicos independentemente dos problemas políticos e sociais que ocorressem dentro ou fora da Inglaterra (que não eram poucos).

Os trabalhos de Boyle sobre o conceito de elemento, bem como uma severa crítica às concepções dos alquimistas e aos ensinamentos referentes à transmutação dos metais, resultaram na sua obra mais famosa: *The Sceptical Chemist* (*O químico cético*), um livro publicado em 1661. (O prefixo *alchemy* foi eliminado por Boyle e o campo ficou a partir daí conhecido como Química.)

The Sceptical Chemist é um livro em forma de diálogo platônico, muito comum naquela época, em que o debate da Química entre as diversas partes interessadas (aristotélicos, alquimistas e filósofos naturais) tornou popular a posição de Boyle, que, entre outras coisas, argumentava haver uma explicação racional para o comportamento da matéria que poderia ser provada experimentalmente.

Boyle afirmava isso com a nova teoria de que toda matéria era formada por pequenas partículas que ele chamava de corpúsculos.

Em 1662, publicou uma segunda edição de *New Experiments*, na qual divulgou a conclusão de seus trabalhos com a bomba de vácuo e o que atualmente conhecemos por lei de Boyle: o volume de um gás é inversamente proporcional à sua pressão (quando a pressão aumenta, o volume diminui na mesma proporção e vice-versa), desde que a temperatura seja mantida constante.

Em 1664, Boyle publicou *Experiências e considerações a respeito das cores*, a primeira descrição dos indicadores químicos. Ele descobriu que todos os ácidos tornam azul o xarope da violeta vermelha, e todas as bases o tornam verde.

Em 1690 publicou *O cristão virtuoso*, onde declara que o principal dever religioso é o estudo da natureza. Em 30 de dezembro de 1691, Boyle faleceu em Londres, aos 64 anos. Em 1692 foi publicado o livro póstumo *História geral do ar*, em que Boyle descreve o calor como resultado de um aumento do movimento das partículas de um gás. Os métodos e a filosofia científica de Boyle forneceram a base para os estudos científicos das gerações seguintes.

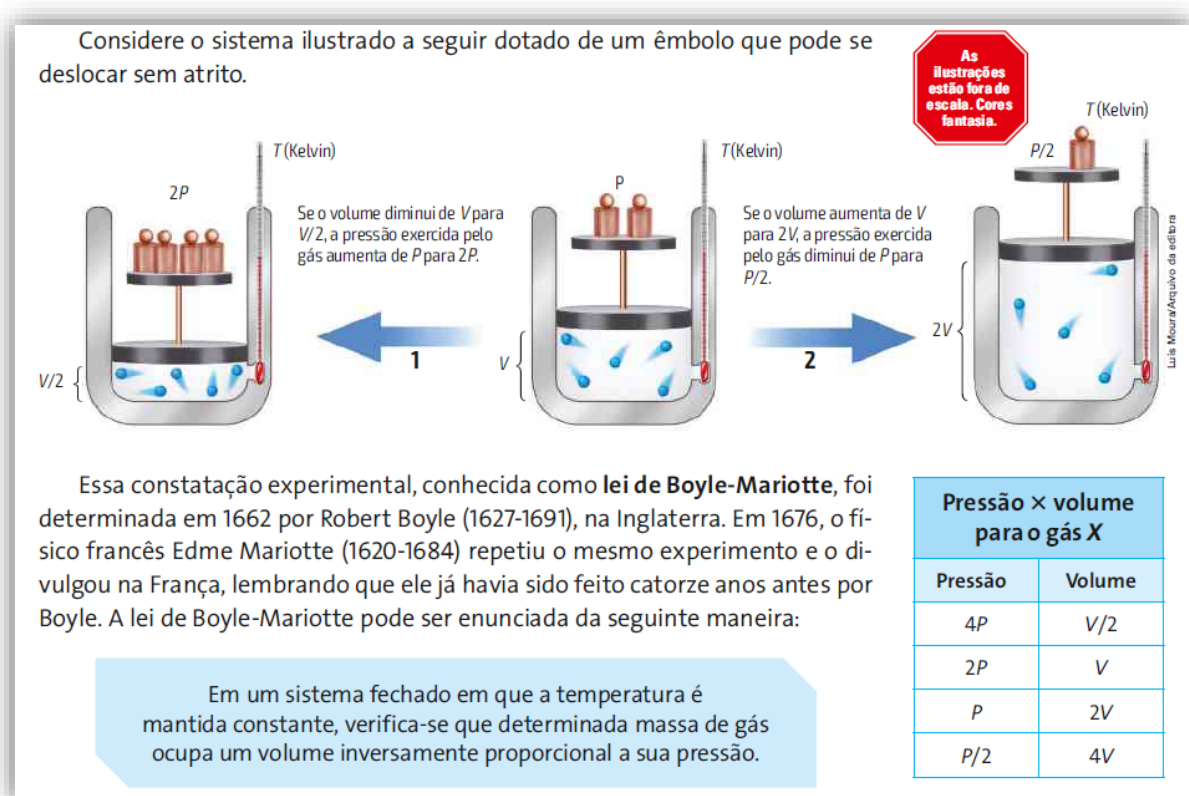
Fontes de pesquisa: PORTO, Paulo Alves. *Van Helmont e o conceito de gás*: Química e Medicina no século XVII. 1995. São Paulo: Educ, Enciclopédia Ciência Ilustrada Abril Cultural. Victor Civita (Editor). v. 7. 1971.

Muitas partes importantes do texto histórico estão presentes nesse texto do LDQ5, como a definição de elemento por Boyle, a invenção da bomba de vácuo por Otto von Guericke e posterior interesse de Boyle por sua bomba para efetuar seus experimentos. Ademais, o texto também destaca a fundação da Royal Society e a publicação dos trabalhos sobre o conceito de elemento presente no *The Sceptical Chemist*, fechando com a importância de Boyle para os trabalhos científicos das gerações seguintes.

Agora, perguntamo-nos por que um texto tão rico historicamente não está presente no corpo do livro? Se fôssemos discutir as visões representadas no livro, com esse texto, claramente, combateríamos boa parte das visões.

LDQ5 aborda ainda o estudo dos gases, apresentado no volume 2, capítulo 1 – “Teoria cinética dos gases”, onde trata das transformações gasosas citando a Lei de Boyle, como lei de Boyle-Mariotte (Figura 16). Ao final do volume 2, Boyle ressurge em outro texto destinado à leitura do professor, “O desenvolvimento do termômetro”.

Figura 16 – Terceiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.



Fonte: LDQ5.

Observamos que a abordagem da Lei de Boyle no LDQ5 possui muitas das visões distorcidas, como atórica, rígida, apromática e ahistórica, individualista e neutra.

Simplesmente só é citado que Boyle realizou o experimento e, posteriormente, Mariotte o repetiu, mas com que intuito? Vale destacar que dentre os livros analisados este foi o primeiro a citar a Lei como Boyle-Mariotte, porém falha em sua abordagem em geral.


Tais deformações poderiam ser desconstruídas se fossem tratadas como o texto presente no “Manual do Professor”, trazendo elementos do texto histórico e demonstrando que Boyle possuía teoria para buscar explicar seus experimentos mesmo que fossem indutivistas por seu mecanicismo. Os livros poderiam mostrar também que Boyle não seguia um passo a passo rígido na realização de seus experimentos. A visão rígida apresentada nos livros como “método científico” pode ser desconstruída ao discutir os problemas observados na época, justificando o porquê Boyle buscou os experimentos com a bomba de vácuo para chegar à sua Lei. E por último, a partir das discussões feitas na comunidade científica e demonstrações com a bomba de vácuo, mostrar aos alunos que a ciência não é nem individualista nem neutra, como vimos no texto histórico (p. 84 e 85). Dentre os trechos, que poderiam ser utilizados, temos dois, um desconstruindo a visão individualista (1) e outro, a visão neutra (2):

1. Shapin e Schaffer (2011) argumentam que qualquer comunidade intelectual ou científica existe dentro das forças maiores de uma sociedade e, apesar de toda tentativa da comunidade em permanecer objetiva, as forças sociais têm influência sobre ela de qualquer maneira. [...] Na Royal Society, a comunidade intelectual costumava efetuar os experimentos para certo público, e esse público, ao observar os fenômenos, acabava por “aprovar” tais experimentos. Porém, Hobbes acreditava que tal público não era confiável, pois era selecionado de acordo com os interesses internos da sociedade científica.
2. De acordo com Shapin e Schaffer (2011), o significado do debate Boyle-Hobbes estendia-se muito além da filosofia natural. Os autores destacam que o eventual estabelecimento da "forma de vida" experimental implicou questões sociais e religiosas mais amplas. Em particular, eles argumentaram que o programa experimental de Boyle estava em sintonia com a necessidade de ordem e consenso na Inglaterra durante a Restauração.

Dessa forma, podemos justificar a importância de contextualizar os eventos científicos, para que não ocorra o desenvolvimento de tais visões distorcidas. Para isso, novamente, precisamos do uso adequado da HC.

Ainda no LDQ5, volume 2, Boyle volta a ser citado no capítulo 8 – “Equilíbrios moleculares” em um quadro intitulado “Curiosidade”, no qual se mostra que Boyle foi um dos primeiros cientistas “a perceber que uma transformação química poderia ser revertida”, como podemos ver na Figura 17.

Figura 17 –Quarto trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ5.

Curiosidade 

O conceito de equilíbrio

O químico e físico irlandês Robert Boyle (1627-1691) foi provavelmente um dos primeiros cientistas a perceber que uma transformação química poderia ser revertida. O experimento que o levou a essa conclusão foi a decomposição do salitre (nitrato de potássio) por aquecimento, proveniente da queima de carvão vegetal.

A queima do carvão produz vapor de água e gás carbônico. Essas substâncias reagem com o salitre em decomposição, formando o que ele chamou na época "nítro volátil", $\text{HNO}_3(\text{v})$, e "nítro fixo", $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{s})$.

$$2 \text{KNO}_3 + 1 \text{H}_2\text{O} + 1 \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HNO}_3 + 1 \text{K}_2\text{CO}_3$$

Boyle observou que o "nítro volátil" era capaz de reagir com o "nítro fixo" reconstituindo o salitre e que, portanto, a reação era reversível.

$$2 \text{HNO}_3 + 1 \text{K}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons 2 \text{KNO}_3 + 1 \text{H}_2\text{O} + 1 \text{CO}_2$$

Mais tarde, Péan de Saint-Gilles (1862-1912) estudou a reação entre um ácido e um álcool formando éster e água (esterificação).

$$\text{ácido} + \text{álcool} \rightleftharpoons \text{éster} + \text{água}$$

Péan observou que em determinado instante essa reação estagnava, ou seja, ela não chegava a se completar, mas aproximava-se de um "limite", que correspondia ao "equilíbrio". Ele determinou, então, a cada intervalo de tempo, a quantidade de ácido que ainda não havia se transformado. Com base nos valores encontrados, calculou a quantidade de éster formado a cada instante, o que o levou à seguinte conclusão: "A quantidade de éster formado a cada instante é proporcional ao produto das massas das substâncias reagentes e inversamente proporcional ao volume".

Foi com base nessas observações que os químicos Guldberg e Waage chegaram ao primeiro enunciado da Lei da Ação das Massas:

"A rapidez de uma transformação química é proporcional às concentrações (em mol/L) das substâncias reagentes".

Fonte: LDQ5.

Mesmo que essa abordagem tenha uma visão rígida, ahistórica, exclusivamente analítica, individualista e totalmente neutra, por outro lado, é muito interessante pelo fato de não ter aparecido em nenhum dos LD analisados até então. Tal demonstração pode também ser observada no texto histórico (p. 65):

Segundo Westfall (2001), Boyle propôs sua versão de filosofia com interesse particular em aplicar a concepção mecanicista às reações químicas. Um dos seus ensaios mais importantes, "A Reintegração do Salitre", ele descreve uma experiência em que o salitre (KNO_3) era separado num espírito volátil (HNO_3) e num sal fixo (K_2CO_3 , sendo o carbono derivado do carvão utilizado no experimento). O objetivo de Boyle não era desenvolver uma teoria química satisfatória, como diz Westfall (2001), mas, para ele, a Química representava um meio de demonstrar a validade da filosofia mecanicista da natureza, mesmo que no fundo parte dela fosse de tradição paracelsiana.

Observamos que Boyle possuía um propósito quando efetuou o experimento citado no LDQ5, o que poderia ser utilizado para desconstruir a visão apromblemática, por exemplo, além de outros pontos relatados no texto histórico que poderiam desconstruir as outras visões presentes nesse trecho.

O LDQ6, volume 1, capítulo 3 “Química e Ciência: Tópico 1 – Da Alquimia à Química”, apresenta Boyle como estudioso experimental que, entre outros cientistas, contribuiu para o estabelecimento do “método científico” e sua utilização, consolidando a Ciência Moderna. Devemos salientar que temos uma visão rígida neste momento, mas, ao mesmo tempo, podemos interpretar o “estabelecimento do método científico” com o fato de Boyle ter sido um experimentalista e ter iniciado os trabalhos experimentais na Química. Porém, se o aluno não for inserido em tal contexto, jamais interpretará dessa maneira. Podemos observar o trecho do LDQ6 na Figura 18.

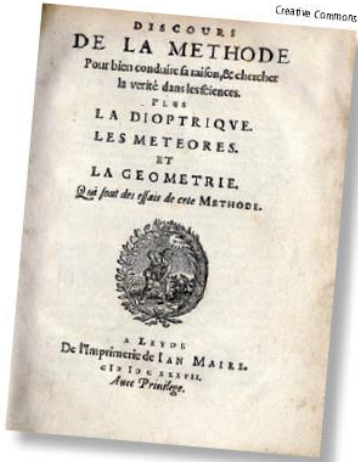
Figura 18 – Primeiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.

sociedade, trouxeram riqueza e melhor qualidade de vida, embora esses benefícios não estejam disponíveis a todos.

O método científico e o nascimento da Ciência moderna

No século XVII, começa a se estabelecer um novo modo de justificar os conhecimentos, com base em um moderno método experimental, centrado em observações meticulosamente controladas que pudessem desenvolver teorias demonstráveis matematicamente. O filósofo inglês Francis Bacon [1561-1626] e o filósofo francês René Descartes [1596-1650] estão entre os vários pensadores que contribuíram para o estabelecimento desse modo de pensar: o método científico. O físico italiano Galileu Galilei [1564-1642] e o químico irlandês Robert Boyle [1627-1691] estão entre os primeiros estudiosos a fazer uso dessa metodologia.

O novo método científico se consolidou e caracterizou o que chamamos hoje **Ciência moderna**. Essa nova forma de interpretar o mundo revolucionou diferentes campos de estudos e influenciou o modo de vida das pessoas. Seu objetivo é explicar a natureza e o universo no qual estamos inseridos. Enquanto os filósofos pensam sobre a causa da existência dos corpos, os cientistas se preocupam em explicar como eles se comportam.



▲ Em *Discurso do Método*, obra publicada em 1637, Descartes apresenta um modelo de pensamento que contribuiu para consolidar a nova forma de pensar que caracterizou a Ciência Moderna.

Fonte: LDQ6.

O trecho destacado possui uma visão rígida, entretanto traz as principais personalidades que contribuíram para o desenvolvimento da filosofia mecanicista, mesmo que não tenha citado tal termo. A partir do texto histórico, podemos observar que quando o livro trata do “novo modo de justificar os conhecimentos” está se referindo ao mecanicismo e ao experimentalismo, que

foi de fato realizado por Boyle. Podemos salientar que o LDQ6 trouxe uma abordagem diferente dos outros livros, mas poderia ter sido um pouco menos simplista. Outro ponto importante é que os autores trazem a “história da alquimia” (Figura 19) no início desse texto, importante abordagem também presente no texto histórico.

Figura 19 – Trecho do texto onde aborda alquimia no LDQ6.



Fonte: LDQ6.

Continuando a análise do LDQ6, o mesmo volta a citar Boyle, atribuindo ao mesmo a utilização do método experimental e, diferente de todos os outros livros, cita Paracelso, como podemos ver no trecho da Figura 20.

Figura 20 – Segundo trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.

O nascimento da Química Moderna

Os estudos sobre processos químicos eram desenvolvidos por diversos filósofos e, sobretudo, pelos **alquimistas**. Até a Idade Média, tais estudos se fundamentavam em teorias obscuras, mas, aos poucos, novos estudiosos adotaram os métodos experimentais da Ciência moderna e novas teorias foram surgindo para explicar as transformações químicas. Por exemplo, o médico, filósofo e alquimista suíço **Paracelso**, Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim [1493-1541], mesmo ainda ligado à Alquimia, desenvolveu estudos que deram início à Química médica (quimiatria ou iatroquímica). Vários outros, entre os quais se destaca o físico e químico irlandês **Robert Boyle**, desenvolveram técnicas experimentais na produção metalúrgica e na preparação de diversos materiais.

Muitas das novas teorias permaneceram ainda impregnadas de velhos conceitos e modelos da Alquimia. Uma das mais marcantes foi a **teoria do flogístico**, proposta pelo alemão Georg Ernst Stahl [1660-1734]. Em 1731, ele aventou uma teoria explicativa para a combustão. De acordo com ela, os corpos combustíveis teriam como constituinte um “elemento”, denominado flogístico, liberado durante a queima.

Fonte: LDQ6.

Podemos observar que o LDQ6, novamente, traz abordagens diferentes da maioria dos livros e destaca a importância de Boyle ter utilizado a experimentação em seus estudos, assim como Paracelso, que trouxe importantes contribuições tanto para a experimentação como para a medicina por desenvolver seus trabalhos iatroquímicos, que também podemos destacar no texto histórico em dois pontos (p. 53 e 54):

1. Devido a diversas concepções existentes sobre a prática da medicina na Europa, Porto (1997) destaca que é possível encontrar vários tipos de médicos, aqueles que defendiam as concepções médicas veiculadas nos textos gregos originais; os médicos ligados a uma visão mais empírica, e aqueles que buscavam incorporar as teorias médicas clássicas e árabes ao seu trabalho. Em meio a essas práticas, encontramos Paracelso (1493-1541) (TAVARES, 2010).
2. Paracelso acreditava na transmutação, personificou os dois lados da Alquimia, o prático e empírico, e o simbólico e místico. Além disso, mostrou seu lado prático e pragmático, que era ligado ao cotidiano dos homens, e suas necessidades primárias, e seu lado místico, que se associava a supostas necessidades interiores e eternas dos homens (FREZZATTI JR., 2005; MAAR, 2008).

As abordagens do LDQ6 são interessantes, pois trazem elementos importantes, mesmo possuindo algumas visões individualistas e neutras. Novamente, o livro retoma as contribuições de Boyle nas transformações gasosas, Figura 21 (volume 1, capítulo 3 “Química e Ciência: Tópico 8 – Leis dos gases e teoria cinética dos gases”), e traz um quadro intitulado “Robert Boyle, o atomismo e o início da Química Moderna”, que conta uma breve história sobre a vida do cientista, destacando que o mesmo definiu “elemento”, sendo importante pelo seu trabalho introduzindo o método experimental, o que contribuiu para o nascimento da Química como ciência. Aponta que foi graças a Boyle que Lavoisier desenvolveu posteriores trabalhos (Figura 22).

Figura 21 – Terceiro trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.


1ª Lei – Transformações isotérmicas

São chamadas transformações isotérmicas, as transformações que ocorrem em temperatura constante.

O experimento sobre a compressibilidade dos gases (página 115) demonstra claramente: à medida que se aumenta a pressão, o volume do gás diminui. Isso não é um fato isolado, é uma regularidade comum, quando o experimento é conduzido a uma temperatura constante para uma mesma massa de gás. O físico e químico irlandês Robert Boyle [1627-1691] foi quem iniciou o estudo da relação entre o volume de um gás e sua pressão. Além de perceber que, quando se aumenta a pressão sobre um gás, observa-se um decréscimo no volume o cientista também notou que o produto entre pressão e volume é aproximadamente constante. Todas as substâncias gasosas apresentam essa regularidade, que ficou conhecida como Lei de Boyle.

Fonte: LDQ6.

Figura 22 – Quarto trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.




História da Ciência

ROBERT BOYLE, O ATOMISMO E O INÍCIO DA QUÍMICA MODERNA

Robert Boyle, irlandês da cidade de Munster, nasceu em 26 de janeiro de 1627. Ele foi o décimo quarto filho do duque de Cork. De família nobre, estudou latim, grego, inglês, hebraico e até siríaco, um antigo idioma falado pelos sírios. Aos 8 anos de idade, entrou para o maior e mais famoso colégio inglês da época, o Eton College, onde estudou por três anos. Ao terminar seus estudos no Eton, percorreu o continente europeu e, na Itália, conheceu o famoso Galileu, que teve uma forte influência em sua decisão profissional: dedicar-se à Ciência.

Após seu regresso à Inglaterra, entrou para Oxford, o principal centro científico do país na época. Foi lá que Boyle teve a oportunidade de conviver com um grupo de brilhantes sábios dedicados à Ciência experimental, que dariam origem, segundo uma carta do rei, de 1660, à Sociedade Real. O cientista irlandês desenvolveu equipamentos para medir a pressão dos gases e fez diversos experimentos, a partir dos quais pôde propor a lei que ficaria conhecida como Lei de Boyle.

Boyle definiu elemento como substância “incapaz de sofrer decomposição por qualquer meio conhecido”. Era um atomista convicto e os seus trabalhos contribuíram para o nascimento da Química como Ciência, tanto pelas suas teorias como pela introdução do método experimental, que ainda não era largamente usado. O marco do surgimento da Química foi estabelecido com a obra de Lavoisier [1743-1794], aproximadamente cem anos depois, mas isso só foi possível graças ao trabalho anterior de diversos pensadores, entre os quais Boyle. Morreu em 30 de dezembro de 1691, aos 64 anos, e sua contribuição para o desenvolvimento das Ciências pode ser percebida pelo tributo que lhe prestaram na época: “Robert Boyle fareja a verdade”.



▲ Os estudos de Robert Boyle contribuíram, de forma significativa, para o surgimento da Química como Ciência.

Fonte: LDQ6.

Podemos observar que o LDQ6 aborda as principais contribuições de Boyle nesse pequeno quadro. Mesmo que tal abordagem não faça parte do texto principal, por ser um quadro isolado, devemos levar em consideração que foi o único até agora que destacou Boyle como experimentalista, apontou sua definição para elemento, trouxe os estudos sobre gases feitos por ele e sua contribuição para o nascimento da Química como ciência, salientando que foi graças a ele que Lavoisier atingiu suas conquistas posteriores.

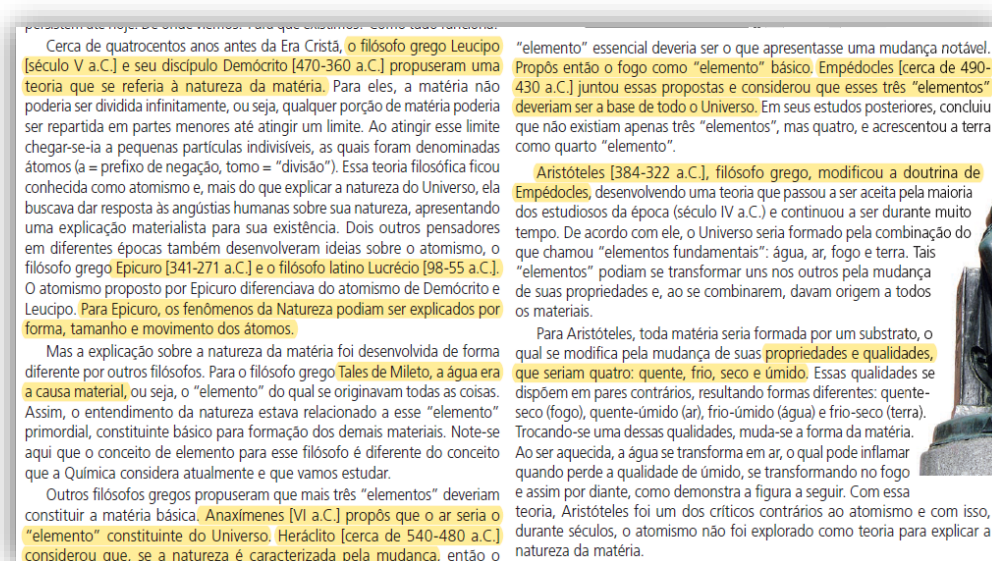
Tal trecho tenta desconstruir a deformação individualista ao abordar a convivência com um grupo de cientistas, porém, ao abordá-los como “brilhantes sábios”, contribui para deformações discutidas anteriormente, nas quais os cientistas são vistos como “superiores” que não erram e estão “acima do bem e do mal”. Ambas as contribuições, aqui citadas no LDQ6, puderam ser constatadas no texto histórico.

Sobre a visão distorcida observada, podemos desconstruí-la a partir de dois pontos presentes no texto histórico (p. 82 e 86):

1. Boyle admitiu que sua máquina estivesse sujeita a vazamentos, mas era bem diferente de sustentar que não só o receptor não estava vazio, mas que o ar interno tinha sua densidade aumentada, próxima da densidade da água. [...] Boyle argumentou que, apesar de sua falibilidade, uma demonstração produzida pela ciência experimental é superior àquela produzida pelo modo matemático de raciocínio.
2. A crítica de Hobbes ao trabalho de Boyle, de fato, levou a melhorias na "máquina" de Boyle e serviu como um corretivo útil para seus procedimentos experimentais. De fato, a resolução final do debate entre Boyle e Hobbes foi moldada em grande parte por preocupações externas à pneumática.

O trecho destacado no texto histórico pode contribuir para a desconstrução da visão do cientista “perfeito”, pois mostra que Boyle passou por problemas relacionados à sua bomba de vácuo, mostrando que o mesmo precisou melhorar sua “máquina” para poder efetuar melhores experimentos, obtendo resultados para rebater as críticas feitas por Hobbes. Essa discussão também pôde contribuir para desmistificar a ciência, mostrando seu caráter não neutro e individualista. No capítulo 4 – “Do atomismo aos modelos atômicos”, temos o tópico 1 – “Evolução histórica do atomismo”, o LDQ6 aborda quais foram as primeiras ideias propostas para a natureza da matéria e podemos observar que os autores salientam elementos importantes, já apontados no texto histórico (Figura 23).

Figura 23 – Trecho do texto onde é abordada a história do atomismo no LDQ6.




Fonte: LDQ6.

É interessante observar como o LDQ6 apresenta a HC nesse trecho, um ponto positivo, pois a maioria dos elementos destacados estão presentes no texto histórico e são essenciais para o entendimento de como ocorreu a evolução das ideias acerca da constituição da matéria, antes mesmo de abordar os átomos. A maioria dos livros não traz esses conhecimentos e os alunos acabam aceitando a ideia de átomo sem entender como os filósofos chegaram a essa ideia. Os textos destacam apenas Aristóteles e, posteriormente, citam Leucipo e Demócrito. Portanto, o LDQ6, citando filósofos como Tales de Mileto, Epicuro, Lucrecio e Anáximenes, possui uma abordagem mais adequada, uma vez que traz uma base para o início dos estudos a respeito dos modelos atômicos.

Após esse trecho histórico, o LDQ6 ainda retoma a figura de Boyle como um dos filósofos que defendiam a teoria corpuscular da matéria, destacando também o conceito de elemento proposto por Boyle (Figura 24).

Figura 24 – Quinto trecho onde Robert Boyle é citado no LDQ6.



▲ **Newton** é conhecido pela elaboração das Leis da Mecânica Clássica, todavia, dentre outros estudos ele desenvolveu uma teoria corpuscular para a matéria, considerando que ela é formada por partículas. As teorias com uma visão mecânica da matéria ficaram conhecidas como corpuscularismo, termo mais aceito na época do que o atomismo.

Mesmo assim, **vários filósofos**, começaram a reelaborar teorias para a natureza da matéria, considerando-a constituída por corpúsculos. **Defenderam teorias corpusculares**, o filósofo francês **Pierre Gassendi [1592-1655]**, o filósofo francês **René Descartes [1596-1650]**, o físico e filósofo alemão **Daniel Sennert [1572-1637]**, o químico e físico irlandês **Robert Boyle [1627-1691]** e o físico inglês **Isaac Newton [1642-1727]**. Desses, são destacados os trabalhos de Gassendi, na França, e de Newton, na Inglaterra, **os quais defenderam que os átomos permitiam conceber o mundo regido pelo vontade do Criador**. Dessa forma, as teorias atomistas começaram a ter menos resistência, pois deixaram de ser vistas como teorias ateístas. Com isso, **favoreceu-se a construção de novas teorias**, com uma percepção mecânica da matéria, que ficaram conhecidas como **corpuscularismo**, termo que tinha menos rejeição do que o atomismo, que era considerado uma filosofia ateísta.

Pierre Gassendi é considerado o que teve papel central em recuperar o atomismo; suas proposições divergiam, de certa maneira, do atomismo grego. Os trabalhos de Boyle e Newton foram marcados por estudos com base na **experimentação** e no estabelecimento de **relações matemáticas**, que foram bem desenvolvidas por Newton. Boyle com dados experimentais apresenta **uma nova concepção para elemento químico** bastante diferente da teoria dominante na época dos quatro elementos aristotélicos. **A noção de elemento químico, proposta por Boyle, rompia, então, com a visão anterior**. Na sua teoria corpuscular, ele considerava que os elementos químicos eram corpúsculos que seriam os componentes últimos dos corpos. Assim, para ele, os elementos seriam “perfeitamente homogêneos e simples” e não deviam ser formados por outros materiais.

Fonte: LDQ6.

Novamente, o LDQ6 aborda elementos importantes presentes no texto histórico, como os filósofos que defendiam a teoria corpuscular, a própria teoria corpuscular e ainda destaca que Boyle possuía estudos de base experimental estabelecendo relações matemáticas. Além

disso, aponta que o mesmo “rompeu com a visão anterior”. Nesses trechos, podemos observar que praticamente não temos visões distorcidas, pois no próprio trecho há um exemplo de desconstrução de uma das visões, destacando que “a noção de elemento químico, proposta por Boyle, rompia com a visão anterior”. Nesse momento, os autores desconstróem a visão de crescimento linear da ciência, algo muito incomum de se encontrar nos LD.

Também podemos destacar a desconstrução da visão individualista quando o mesmo cita vários defensores da filosofia corpuscular. A abordagem na qual Gassendi relaciona a teoria atômica ao divino também mostra que a ciência está relacionada com os contextos externos, nesse caso, a religião, e desconstrói a visão neutra.

Ainda no LDQ6, Boyle é citado novamente no volume 2, capítulo 3 – “Tópico 3: Ácidos e bases”, no qual é destacado que Boyle está entre os primeiros a notar que todos os ácidos, e não apenas alguns, realizavam a mudança de cor nas substâncias usadas como indicadores (Figura 25).

Figura 25 – Sexto trecho do texto onde é citado Robert Boyle no LDQ6.

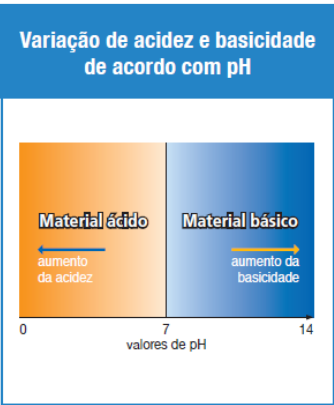
Já na Idade Média, ao estudar os materiais, os alquimistas perceberam que muitas substâncias e materiais podiam ser classificados quanto à alteração que produziam na cor de certos extratos vegetais. Essa classificação deu origem a dois grupos. Um deles constitui os ácidos e o outro, as bases.

Das ideias do alquimista vitalista belga Johan Baptist van Helmont [1580-1644] surgiu uma teoria ácido-base que classificava as substâncias de acordo com esse critério. Ele acreditava que poderia unificar a Química e a Fisiologia porque a fermentação de produtos da digestão de seres vivos segregava, ao fim, materiais ácidos ou básicos. Para ele, a relação entre os materiais orgânicos e inorgânicos poderia ser explicada pela teoria ácido-base. Ainda segundo essa teoria, toda substância, independentemente de sua origem, deveria conter um componente ácido ou básico.

O químico irlandês Robert Boyle [1627-1691] considerava um erro generalizar que todas as substâncias poderiam ser explicadas pela teoria ácido-alcalino. Segundo ele, o melhor método para identificar a acidez ou alcalinidade de substâncias era por meio de testes químicos bastante difundidos naquela época, como o da efervescência, do gosto e da mudança de cor. Note que, atualmente, é impensável provar o gosto de uma substância ou material desconhecido.

Esses testes deveriam ser estudados em conjunto, e somente substâncias que apresentassem resposta positiva a todos eles poderiam ser classificadas como ácidas ou alcalinas. O teste da mudança de cor já era bastante difundido, mas Boyle está entre os primeiros a notar que todos os ácidos, e não apenas alguns, realizavam a mudança de cor nas substâncias usadas como indicadores. Ele também foi um dos primeiros a perceber que os indicadores poderiam ser usados ainda para testar a alcalinidade.

Variação de acidez e basicidade de acordo com pH



▲ Qualquer material contendo água líquida apresenta um valor de pH. Quando esse valor é igual a 7, diz-se que o material é neutro.

Fonte: LDQ6.

De forma breve, podemos destacar que o LDQ6 foi o que mais trouxe citações sobre Boyle, dentre elas muitas contribuições importantes que foram observadas no texto histórico levantada neste trabalho.

Para total desconstrução de cada uma das visões, discutiremos, agora, pontos do texto histórico que poderiam ser utilizados para esse fim, além das desconstruções já observadas. Primeiro, com relação à desconstrução da visão indutivista e atórica, podemos destacar que Boyle era indutivista por conta de seu pensamento mecanicista, mas jamais um atórico, pois buscava sempre comprovar hipóteses e construir teorias explicativas por meio de seus experimentos, podendo ser destacados dois exemplos (p. 65):

1. Dessa forma, Boyle, sabendo do preconceito que os filósofos naturais tinham com relação à Química, propôs-se a elaborar diversos experimentos e teorias, ao mesmo tempo, claros e precisos, a ponto de integrar a Química a esse novo saber universal.
2. Os amigos de Boyle ficaram incomodados, pois não consideravam a Química como uma ciência, porém, para Boyle, a mesma estava em uma posição privilegiada para fornecer à filosofia mecanicista da Natureza uma teoria da matéria baseada na experiência. Então, dedicou-se para esse fim em sua carreira científica, elaborando inicialmente um projeto sobre a teoria corpuscular da matéria.

Claramente, os dois exemplos destacados dão conta de apontar a deformidade da visão atórica, pois mostra que Boyle queria fundamentar sua teoria por meio do experimento. Partindo para segunda visão distorcida, temos a visão rígida, na qual podemos destacar que, até certo ponto, Boyle, que utilizava de métodos experimentais, apesar de apresentar um lado rígido, foi quem muito contribuiu para o reconhecimento do uso da experimentação¹⁹ na ciência, que é de fato uma contribuição muito importante destacada no texto histórico. Assim (p. 69):

Por conta de ambas as teorias não possuírem um trabalho experimental, Boyle, que considerava ambas valorosas, buscou uma sustentação experimental a partir de sua grande influência, Lord Bacon, para tornar o atomismo um instrumento que comprovaria as ideias “mecanicistas” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

A visão considerada aproblemática e ahistórica está claramente desconstruída ao longo do texto historiográfico, que mostra as diversas relações históricas e problemas que surgiram em diferentes períodos destacados. Dependendo do conteúdo a ser abordado no LD, deve-se efetuar uma busca adequada para desconstrução dessa visão, pois os problemas e fatos históricos são uma constante ao longo do desenvolvimento científico.

¹⁹ A experimentação era usada por Boyle para testar suas hipóteses, mas ainda se tinha a ideia de que, sem experimento, uma teoria não seria válida. Essa ideia, visão filosófica (empirista/indutivista), perdeu o final do século XIX até o começo do século XX. Na metade do século XX, começaram a aparecer novas ideias sobre a Ciência, “a Nova filosofia da Ciência”, que tinha como representantes, Kuhn, Lakatos, Popper, entre outros.

Temos também a questão da visão exclusivamente analítica, que se preocupa com a resolução de pequenos problemas. Tal visão pode ser totalmente desconstruída com trechos do texto histórico que mostram como Boyle foi persistente em demonstrar experimentalmente sua filosofia corpuscular (problema central) e, ao mesmo tempo, resolveu diversos problemas “menores”, dentre os quais podemos destacar que, por sua visão mecanicista, possibilitaram resolver vários problemas, incluindo a questão do vácuo e o problema dos elementos, por exemplo. Pode-se destacá-los no texto histórico (p. 68 e 83):

1. Boyle (através de Carneades) sugere que, no lugar dos três “princípios”, seja utilizada a hipótese corpuscular sobre a formação da matéria, pois a teoria dos três princípios vinha enfrentando problemas crescentes no confronto com a experimentação, e estes corpúsculos, agregados de maneiras diferentes, responderiam de maneira racional a esses problemas.
2. Para Boyle, esse experimento ofereceu um exemplo de como era permissível interpretar fatos. Os problemas eram aqueles tradicionalmente associados à experiência torricelliana: a elevação do mercúrio e a natureza do espaço aparentemente vazio.

Outra visão a ser combatida é a conhecida como acumulativa de crescimento linear, e como já vimos no texto histórico, se a ciência possuísse um crescimento linear, no qual seria dependente exclusivamente de teorias anteriores, como explicar as rupturas que ocorreram ao longo do tempo, tanto as epistemológicas, como as próprias rupturas com teorias anteriores. Pode-se citar o momento em que Boyle rompe com o aristotelismo e critica o vitalismo alquímico a partir de sua filosofia mecanicista. Dessa forma, pode-se destacar três pontos no texto (p. 67 e 68):

1. O espírito vitalista e qualitativo do alquimista foi perdendo espaço conforme o mundo se reduzia mecanicamente à matéria e ao movimento, esse fenômeno pode ser explicado pela mudança das atitudes de Boyle diante de seus estudos de Química, pois se as propriedades dos corpos são aparências causadas pelas partículas de que são compostos, a Química tinha muitas coisas a dizer que não podiam ser ignoradas pela filosofia mecanicista da natureza (WESTFALL, 2001; ALFONSO-GOLDFARB, 1987).
2. O rompimento dos “espagiristas” com a escolástica foi elogiado por Boyle, pois acreditava que muitos que se sentiam frustrados com a forma dos aristotélicos explicarem o mundo acabaram por abraçar a visão espagírica do mundo. Porém, acreditava que, se a teoria filosófica dos espagiristas fosse baseada nos três princípios (enxofre, mercúrio e sal), seria tão subjetiva quanto a teoria aristotélica das “formas”, e essa discussão, Boyle trabalhou em sua obra “The Sceptical Chymist”...
3. Dessa forma, Boyle teria a “chave” para introduzir na Química a nova ciência “mecanicista” e, ao mesmo tempo, descartar a teoria dos três “princípios” e a dos quatro “elementos” (ALFONSO-GOLDFARB, 1987).

Com relação à visão individualista e elitista, podemos discutir da seguinte maneira: Boyle era sim um elitista, porém não era individualista. Devemos destacar que o contexto em que viveu Boyle, estávamos no começo da ciência, e na época só a elite conseguia “fazer ciência”. Um exemplo disso é a própria Royal Society, que não possuía recursos para “patrocinar” os experimentos de Boyle e, pelo fato de ser financeiramente independente, ele mesmo pôde montar seu próprio laboratório e financiar seus experimentos, o que lhe possibilitou contribuir de forma significativa para o desenvolvimento da Química como Ciência.

Por outro lado, a visão individualista pode ser combatida observando o fato de Boyle sempre ter trabalhado, primeiro, com o interesse de resolver problemas “coletivos”. Além de influenciar e ter sido influenciado pelas ideias de outros pensadores da época, possuía seu ajudante Robert Hooke. Sempre fez seus experimentos, apresentando-os à comunidade científica, pois participava do programa de pesquisa dos gases e também queria demonstrar aos colegas matemáticos a importância da Química. No texto histórico, temos (p. 72):

Boyle construiu sua versão da bomba com a ajuda de Robert Hooke, que foi seu assistente e discípulo, apresentando à sociedade em maio de 1661. Depois disso, a demonstração e a reivindicação das descobertas do "motor pneumático" tornaram-se centrais para a vida corporativa da sociedade (HUNTER, 2015).

Por último, a visão de ciência totalmente neutra, ignorando as questões CTS, pode ser desconstruída pelo texto histórico. O primeiro exemplo disso é destacar que Boyle, por ser autossuficiente financeiramente, foi capaz de efetuar todos os seus experimentos (principalmente os com a bomba de vácuo, que era considerada um dos aparatos mais caros, junto com o próprio experimento “vácuo no vácuo”) e resolver problemas do contexto no qual viveu na época. Entretanto, sabemos que a ciência necessita de financiamento e, se o mesmo não possuísse esses recursos, não teria como desenvolver suas teorias e comprovar suas hipóteses. Segundo, existiam diversos interesses na resolução desses problemas, além das discussões com Hobbes, por exemplo.

Boyle conseguiu fundamentar sua filosofia corpuscular por meio da experimentação, definiu elemento a partir de seus experimentos, construiu a bomba de vácuo e rebateu os plenistas com sua teoria vacuística, comprovando que o “ar” possuía um tipo de “substância” vital. Também, a partir de experimentos, postulou sua Lei de Boyle que o deixou praticamente “imortal” e rebateu as críticas de Hobbes, além de melhorar seu equipamento. Esses são somente alguns dos pontos que poderiam ser destacados para desconstrução dessa visão.

1. O desafio foi um convite à imortalidade de Boyle, uma vez que as investigações que daí resultaram terminaram no enunciado da Lei de Boyle.
2. A reconstrução minuciosa que Shapin e Schaffer fazem dos experimentos da bomba de vácuo de Boyle indicou que havia de fato mais do que uma maneira razoável de interpretar os resultados, dependendo de acreditar-se ou não na existência do vácuo.
3. Apesar das ilustrações detalhadas de Boyle, seus instrumentos eram difíceis de construir e operar e, como Hobbes notou alegremente, eles vazavam, refutando de maneira eficaz o vácuo que Boyle alegava existir (SHAPIN e SCHAFFER, 2011).
4. A crítica de Hobbes ao trabalho de Boyle, de fato, levou a melhorias na "máquina" de Boyle e serviu como um corretivo útil para seus procedimentos experimentais. De fato, a resolução final do debate entre Boyle e Hobbes foi moldada em grande parte por preocupações externas à pneumática. O trabalho de Shapin e Schaffer nos informa especificamente como o desenvolvimento de Boyle do empreendimento experimental foi conscientemente planejado para dar a seus praticantes legitimidade política e religiosa, e hegemonia na Restauração.

Portanto, após discutirmos todas as visões, e como desconstruí-las, é importante refletir a partir dos exemplos citados: Como é possível os seis livros terem abordagens tão diferentes? Se um professor escolhe dentre os livros apresentados aquele que nem mesmo cita os trabalhos de Boyle, o aluno jamais terá a verdadeira percepção de qual sua importância na História da Química. Pode-se dizer o mesmo em relação aos professores que escolhem esses livros.

Em geral, Boyle praticamente aparece como o proponente da lei que rege a transformação isotérmica, excluindo o mesmo de qualquer outra contribuição ou acontecimento relevante para a História da Química, ou seja, quatro dos seis livros trazem-no assim, tanto professores quanto alunos que utilizarem tais livros didáticos terão percepções inadequadas sobre o mesmo, assim como terão diversas das visões distorcidas citadas anteriormente.

Nos dois livros que possuem abordagens históricas mais detalhadas, Boyle é apresentado como um dos responsáveis pela proposição do “método científico” e desenvolvimento da experimentação, ou até mesmo como o primeiro estudioso a marcar o início da Química. Ainda que as abordagens nos livros possam ser consideradas um pouco pobres, são mais detalhadas e relevantes que as anteriores e trazem algumas das importantes contribuições feitas por Boyle, como a definição de elemento e a importante influência do mecanicismo para a Ciência Moderna.

Dessa forma, pode-se concluir que a escolha do livro didático é uma decisão pedagógica importante para o professor. Ao escolher livros que trazem uma visão distorcida e pouco

detalhada sobre as contribuições dos cientistas ao longo do tempo, pôde-se contribuir para a construção e manutenção de uma visão inadequada de ciência pelos estudantes. No caso de Robert Boyle, pode-se dizer que mesmo os livros que apresentam outras contribuições para além do estudo dos gases deixam a desejar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como vimos ao decorrer do trabalho, as abordagens de fatos históricos retratados nos conteúdos presentes no Livro Didático de Química geralmente são inadequadas e isso se reflete na sala de aula. A história retratada no LD é muito simples e carece de detalhes importantes para melhor compreensão dos conceitos. Portanto, a alfabetização científica é dificultada, e tais abordagens auxiliam no desenvolvimento de concepções ou visões inadequadas sobre a Natureza da Ciência, refletindo na maneira do aluno aprender.

Além disso, temos que salientar que a maioria dos professores também não possui visões adequadas, além de não terem formação para abordar a história de forma a desmistificar tais visões. Porém, com uma melhor formação, e também com acesso a pesquisas que tragam visões mais adequadas sobre a HC, os professores podem refletir sua prática buscando identificar livros mais adequados para abordar a História da Ciência no Ensino de Química. Considerando as concepções errôneas relatadas, podemos dizer que o principal objetivo desses educadores pode vir a ser a superação das visões deficientes e inadequadas, a partir inclusão da HC. Podemos perceber que a História e Filosofia da Ciência formam um caminho possível para a discussão sobre a Natureza da Ciência, porque evidenciam os meandros da construção do conhecimento científico, contextualizando a Ciência e sua produção.

Dessa maneira, é importante aprender aspectos do processo de construção do conhecimento científico, principalmente sua interação com o contexto social, pois é necessário que o aluno reconheça a constante necessidade humana de buscar respostas para os eventos que os cercam, além dos conteúdos, considerados como os produtos da ciência.

O estudo histórico de como um cientista realmente desenvolveu sua pesquisa ensina mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia científica. Por esta razão, o estudo com abordagens históricas no Ensino de Química proporciona aos discentes uma visão mais completa e interligada do desenvolvimento contextualizado dessa Ciência, deixando de se tornar algo abstrato para fortalecer um ponto de vista mais crítico e real dos fatos.

Dessa forma, vimos que o texto histórico pode contribuir para que se construa uma imagem de ciência mais elaborada, realista e complexa. A partir do texto histórico feito sobre as contribuições dos estudos de Boyle, observamos que a Ciência possui conflitos políticos e sociais, interesses diversos e sua construção não é individualista. Assim, pode-se auxiliar tanto professores quanto alunos a compreenderem como a Ciência se constrói. Ao adotar um discurso

crítico, deve-se mostrar de forma clara as bases sobre as quais os discursos históricos são construídos, sejam elas epistemológicas, históricas ou políticas.

Portanto, partindo somente da utilização dos livros didáticos, não podemos ter um ensino efetivo, pois a maioria deles apresenta abordagens históricas inadequadas, necessitando que o professor busque auxílio de outros materiais. Assim, neste trabalho buscamos identificar os fatos e as características que os livros deveriam trazer sobre a História da Ciência para apresentar as contribuições de Boyle de uma maneira mais próxima da realidade a fim de sustentar sua importância.

Neste trabalho, optou-se pelas pesquisas documental e bibliográfica, pois permitem a utilização do documento como objeto de investigação, fontes de informações, para que fosse possível buscar historiograficamente quais os fatos e dados importavam para analisar os livros didáticos nos pontos relacionados à importância das contribuições de Robert Boyle para o avanço da Ciência e melhor compreensão sobre a NdC.

Dentre os seis livros analisados, além de percebermos que são muito diferentes uns dos outros, pode-se dizer que dois deles apresentam visões mais interessantes, pois trouxeram alguns dos principais elementos apontados no texto histórico aqui levantado, mostrando que Boyle foi muito mais importante do que a maioria de nós cogita. Em geral, por conta das abordagens praticadas atualmente sobre as contribuições de Boyle, muitos alunos nem o reconhecem como um Químico importante, o que não ocorre, por exemplo, com Lavoisier, cujas contribuições parecem ser mais valorizadas.

Constatou-se no texto histórico que, para além de sua Lei Isotérmica, a contribuição de Boyle foi muito importante para a HC:

1. Retomar o estudo da matéria, desde os pré-socráticos possibilitou verificar como ocorreram as primeiras ideias, sendo que as mesmas influenciaram pesquisas posteriores. Ao passar pelos alquimistas, observamos que muitas práticas antigas foram de extrema importância para as ideias acerca da medicina e da própria Química. Os diferentes povos possuíam práticas alquímicas diferentes e suas culturas se difundiram, também influenciando outros povos. Dessa maneira, Boyle, influenciado por trabalhos sobre alquimia, inicia seus estudos com interesse na Química, rompendo com a ideia escolástica de Aristóteles e contribuindo para a definição de elemento, o que influenciou posteriormente os trabalhos de Lavoisier.
2. Além disso, Boyle, ao retomar estudos sobre o átomo, contribuiu para a formulação de uma filosofia corpuscular da matéria a partir do mecanicismo de Descartes e Galileu. Com a intenção de “provar” suas ideias acerca da filosofia mecanicista,

Boyle parte para a experimentação, influenciado por Francis Bacon, e faz de tudo para mostrar para os colegas da comunidade científica que a Química não é charlatã como muitos a classificavam, trazendo para a discussão as relações matemáticas. Com seu trabalho *The Sceptical Chysmit*, separou a Química dos misticismos da alquimia. Dessa forma, pode-se afirmar que Boyle contribuiu para a formalização da Química como ciência.

3. O fato de Boyle não negar o vazio o levou aos diversos experimentos com a bomba de vácuo, em que o mesmo resolve diversos problemas menores, contribuindo para os estudos sobre gases, combustão, som, etc. Também a partir dos estudos com a bomba de vácuo, verificou e defendeu a necessidade dos seres vivos em relação ao ar para sobreviver, entre outros.
4. Influenciado pela ênfase de Francis Bacon, para quem tirar conclusões gerais poderia ser feito somente depois de acumular e analisar dados experimentais, e depois, baseando-se em suas próprias experiências pessoais no laboratório, Boyle fez uma grande contribuição para o futuro da ciência, apontando claramente como a ciência experimental deveria ser feita.
5. Boyle publicou abertamente os resultados de seu trabalho, rompendo com a ideia reservada dos alquimistas. Trouxe, assim, um novo parâmetro de avaliação e validação para os resultados obtidos. Alertou para o fato de que produtos químicos impuros poderiam causar erros nos experimentos, assim como o uso incorreto do equipamento. Mostrou como pessoas diferentes poderiam obter resultados muito diferentes em um experimento e enfatizou a necessidade de repetir experimentos destacando que isso melhorava as técnicas experimentais. Também destacou que, se resultados diferentes fossem obtidos após a repetição de um experimento, as razões para isso deveriam ser exploradas.
6. Discutiu acaloradamente com Hobbes e, a partir destas discussões, observamos como Boyle “incomodou” com suas teorias e experimentos, sua bomba de vácuo e suas contribuições em geral, abalando as ideias políticas da época.

Dentre os diversos elementos presentes nesse trabalho, a Lei de Boyle foi a “menor” de suas contribuições. O uso de abordagens inadequadas da HC sobre as contribuições desse personagem da Ciência contribui para visões distorcidas dos alunos.

Defendemos que os livros didáticos poderiam trazer com mais clareza as contribuições de Boyle para a construção do conhecimento científico de sua época, auxiliando para a

construção de uma nova visão da Ciência que, se apresentada aos alunos, poderia produzir uma melhor compreensão sobre a NdC, cujas visões distorcidas foram apresentadas no capítulo 5.

Esta pesquisa deixou ainda muitas questões sem resposta. Entretanto, pretende-se aprofundar o texto histórico partindo de fontes primárias para, posteriormente, elaborar um material paradidático que auxilie o professor na abordagem histórica relacionada ao estudo dos gases. Pretende-se traduzir de forma mais fiel quem foi o Robert Boyle para além da Lei Isotérmica, contribuindo, assim, para uma melhor compreensão da Natureza da Ciência, do tema abordado, facilitando a aprendizagem dos estudantes.

REFERÊNCIAS

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Nova Stella / EDUSP, 1987
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é História da Ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M., FERRAZ M. H. M., BELTRAN, M. H. R. e PORTO P. A. (2016). **Percursos de história da química**. São Paulo: Livraria da Física.
- ALVES, A. C. M. e PRAXEDES, G. As Visões de Ciência nos Livros Didáticos utilizados no Ensino Fundamental: uma Análise do tópico gravitação. **Revista Labore em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, 2017.
- ANDERY, M. A.; MICHELETTO, N.; SÉRIO, T. M. P.; RUBANO, D. R.; MOROZ, M.; PEREIRA, M. E.; GIOIA, S. C.; GIANFALDONI, M.; SAVIOLI, M. R. e ZANOTTO, M. L. **Para Compreender a Ciência: uma perspectiva histórica**. São Paulo: EDUC, 1996
- BENSAUDE-VINCENT, B. e STENGERS, I. **História da Química**. Portugal: Instituto Piaget, 1992.
- BOYLE, R. **New experiments physico-mechanical touching the air**, London, 1682
- BOYLE, R. **Física, química y filosofía mecánica**. Introducción, traducción y notas de Carlos SOLÍS SANTOS: Alianza Editorial, 1985
- BRANCO, P. H. V. B. C. Poderes invisíveis versus poderes visíveis no Leviatã de Thomas Hobbes. **Revista de Sociologia e Política**, n. 23, 2004.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Guia de livros didáticos: PNLD 2013: Ciências**. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2012.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PNLD 2018: química – guia de livros didáticos – ensino médio/ Ministério da Educação** – Secretária de Educação Básica – SEB – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2017. 56 p.
- BRASIL. Ministério da Educação – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2006
- BRICCIA, V. E CARVALHO A. M. P. de. Visões sobre a natureza da ciência construídas a partir do uso de um texto histórico na escola média. **Revista Electrónica Enseñanza de las Ciencias**, v.10, n.1, p.1-22, 2011.
- BRUSH, S. G. Should the History of Science Be Rated X? **Science**, New Series, Vol. 183, No. 4130. (Mar. 22, 1974), pp. 1164-1172.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D., CARVALHO, A. D., PRAIA, J., & VILCHES, A.A **Necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CAMPOS, F. Reforma do Ensino Secundário (Decreto 19890, 18 de abril de 1931). In: **O Ensino Secundário no Brasil e na sua atual legislação: de 1931 a 1941 inclusive**. São Paulo: Oficinas de José Magalhães, 1942.

CHAMIZO, J. A. A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching - **Science & Education** 2011. Disponível em: <http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/a_new_definition_of_models_and_modeling_in_chemistry.pdf> Acesso em: 15/12/2018.

CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos**. São Paulo: Moderna. 1994

CELLARD, A. **A análise documental**. In: POUPART, J. et al. A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos. Petrópolis, Vozes, 2008.

COSTA, E. O.; LIMA, R. C. S. e SANTOS, J.C.O. A Importância dos Livros didáticos no Ensino de Química: uma análise dos livros didáticos na escola estadual Orlando Venaco dos Santos. In: II CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2015, Campina Grande. **Anais II CONEDU**. Campina Grande: Realize, 2015. v. 2.

COSTA, M. A. e FIELD'S, K. A. P. Análise da utilização do livro didático de Química com relação à contextualização e sua influência no processo de ensino e aprendizagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 2016, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis, 2016.

CRUZ, R. N. da. História e historiografia da ciência: considerações para pesquisa histórica em análise do comportamento. **Rev. bras. ter. comport. cogn.**, São Paulo, v 8, n. 2, p. 161-178, dez. 2006.

DE DEO, A.S.R. e DUARTE, L.M. Análise de livro didático: as diversas abordagens e métodos aplicados ao ensino de língua estrangeira. **Revista Eletrônica Unibero de Produção Científica**, 2004

DEBUS, A. G.; 1971 The relationship of science-history to the history of science. **Journal of Chemical Education**, Easton, v. 48, n. 12, p. 804-805, 1971.

DEBUS, A. G., Paracelsus and the Medical Revolution of the Renaissance: A 500th anniversary celebration. In: **Paracelsus, Five Hundred Years: Three American Exhibits**. Bethesda, Maryland: Published by the Friends of the National Library of Medicine, Inc., for the Hahnemann University Library, The National Library of Medicine, St. Louis, 1993, pp. 3-12

DEBUS, A. G., **The English Paracelsians**. London: Oldbourne Press. Pp. 222. 1965. 45s. - Volume 3 Issue 3 - C. H. Josten

DEBUS, A. G., **O Homem e a Natureza no Renascimento**, Porto: Porto Editora, 2002

DEBUS, A. G. **The Chemical Philosophy**. Nova York: Science History Publi., 1977. 2 vols.

- FARIAS, R. F. de **História da alquimia**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2007. 102p.
- FERREIRA, J. M. H. e MARTINS, A. F. P. **Disciplina de História e Filosofia da Ciência** - Licenciatura em Física - Material Didático - Ensino a Distância - Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN. 2009. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Material Didático - EAD/UFRN - Disciplina de História e Filosofia da Ciência - Licenciatura em Física).
- FERREIRA, P. F. M. e JUSTI, R. S. Modelagem e o “Fazer Ciência”. **Química nova na escola**, n. 28, p.32-36, maio 2008. Disponível em: <<http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc28/08-RSA-3506.pdf>>. Acesso em: 19/12/18
- FILHO, A. J. A., A pesquisa histórica: teoria, metodologia e historiografia **Histenferm Reveletrônica** [Internet]. 2016;7(2):381-2
- FILGUEIRAS, C. L. A. **Lavoisier: O estabelecimento da Química Moderna**. São Paulo: Odysseus, 2002.
- FORBES, R. J. On the origin of alchemy. **Chymia**, v. 4, p. 1-11, 1953.
- FREITAS, T. F. e COSTA, G. M. Os livros didáticos no Ensino de Química: uma breve análise. 37º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química – EDEQ, **Anais 37º EDEQ**, FURG, 2017.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996. 148p.
- FREZZATTI JR., W. A. Boyle: A Introdução do Mecanicismo na Química. **Varia Scientia**, Cascavel, v. 5, n. 9, p. 139-156, 2005.
- GATTO, M. A. O modelo atômico de Dalton: Uma proposta de situação de estudo articulando história da ciência e ensino. 2017. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Licenciatura em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- GRANT, E. **Os Fundamentos da Ciência Moderna na Idade Média**, Porto: Porto Editora, 2003
- HENRY, J. **The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science**. 2nd ed. New York: Palgrave, 2002.
- HOBBS, T. "Leviatã ou matéria, forma e poder de um estado eclesiástico e civil". In: **Hobbes**. São Paulo, Abril Cultural, 1973, col. Os Pensadores.
- HODSON, D. Philosophy of Science, science and science education. **Studies in Science Education**, Leeds, Inglaterra, n. 12, p. 25-57, 1985.
- HÖTTECKE, D. e SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science & Education** (Dordrecht), v. 20, p. 293-316, 2011.

HUNTER, M. C. W. **Boyle studies: aspects of the life and thought of Robert Boyle (1627–91)**, Ashgate, England, 2015, 267 p.

HUNTER, M. C. W. **The Robert Boyle Project – Introduction**. 2018. Disponível em: <<http://www.bbk.ac.uk/boyle/learn/introduction>> Acesso em: 07/07/2019.

KAUFFMAN, G.B. 1989, 'History in the Chemistry Curriculum', **Interchange** 20, 81–94

KRAGH, H. **Introdução à historiografia da ciência**. Tradução de Carlos Grifo Babo. Porto: Editora Porto, 2001.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. São Paulo: Ed. da USP, p.198, 2004.

KUHN, T. Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century, **Isis**, Vol. 43, No. 1. (Apr., 1952), pp. 12-36.

LEITE, I. C. Argumentos para uma dissociação da filosofia política de Thomas Hobbes da tradição realista. **Contexto int.**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p. 7-50, 2005.

MAAR, J. H. **História da Química - Primeira Parte - Dos Primórdios a Lavoisier**. Florianópolis: Conceito. 2008.

MAGALHÃES, G.; SALATEO, R. História da ciência e crescimento econômico: a produção de artigos de história da química em periódicos brasileiros (1974-2004). **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 16-25, 2015.

MAIA, J. O.; SÁ, L. P.; MASSENA, E. P. e WARTHA, E. J. O livro didático de química nas concepções de professores do ensino médio da região sul da Bahia. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 21, p. 115-124, 2011.

MARTINS, R. A. (2006). A maçã de Newton: história, lendas e tolices (Newton's apple: History, tales and foolishness). In C. C. Silva (Ed.), **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física

MARTINS, R. A. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. Pp. 115-145, in: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria & BELTRAN, Maria Helena Roxo (eds.). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC / Livraria de Física / FAPESP, 2005. (ISBN 85-283-0310-1)

MARTINS, R. A. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. Pp. xxi-xxxiv, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R. A. Tratados físicos de Blaise Pascal. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** [série 2] 1 (3): 1-168, 1989

MASON, T. F. **História da Ciência: As Principais Correntes do Pensamento Científico**. Porto Alegre: Editora Globo S.A., 1964.

MATTHEWS, M. R. History, Philosophy and Science Teaching: what can be done in an undergraduate course? **Studies in Philosophy and Education**, Dordrecht, Holanda, n. 10, p. 93-97, 1990.

MATTHEWS, M. R. (1990) History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement, **Studies in Science Education**, 18:1, 25-51

MATTHEWS, M. R. History, Philosophy, and Science Teaching: The Present Rapprochement, **Science & Education** 1, 11-47, 1992.9 1992 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching**: the role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge, 1994.

MAY, T. **Pesquisa social: questões, métodos e processo**. Porto Alegre, Artmed, 2004.

MINAYO, M. C. S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. **Ciênc. saúde coletiva [online]**. 2012, vol.17, n.3, pp. 621-626. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232012000300007> Acesso em: 08/01/2016.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência. **Revista Brasileira de História da ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

NETO, M. J; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

NIAZ, M. How important are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry? A history and philosophy of science perspective. **Science & Education**, Dordrecht, Holanda, n. 10, p. 243-266, 2001.

OKI, M. C. M. e MORADILLO, E. F. O ensino de História da Química: contribuindo para compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67 88, 2008.

OLIVEIRA, B. J. de; CONDÉ, M. L. L. Thomas Kuhn e a nova historiografia da ciência. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 4, n. 2, p. 143-153, 2002.

PÉREZ, D. G.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A. e PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

PORTO, P. A. História e filosofia da ciência no ensino de química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de química em foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010. p. 159-180.

PORTO, P. A.; **Van Helmont e o Conceito de Gás – Química e Medicina no Século XVII**; EDUCEDUSP; São Paulo, 1995, pp. 79-107

PORTO, P. A. Os Três Princípios e as Doenças: A Visão de dois Filósofos Químicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 20, n. 5, p. 569-572, 1997.

PORTO, C. M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 35, n.4, p.1-12, 2013.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D. e VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PRINS, G. T. **Teaching and Learning of Modelling in Chemistry Education: Authentic Practices as Contexts for Learning**. Freudenthal Institute for Science and Mathematics Education, Utrecht University, 2010. Disponível em: <<http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/44370/prins.pdf?sequence=2>> Acesso em: 28/11/2015.

READ, J. **From alchemy to chemistry**. Courier Corporation, 1995.

SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA C.D. e GUINDANI J.F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Rev Bras História e Ciências Sociais**. São Leopoldo; 2009. Acesso em: 26 ago 2018. Disponível em: <http://rbhcs.com/index_arquivos/Artigo.Pesquisa%20documental.pdf>

SARGENT, R. M. **The diffident naturalist: Robert Boyle and the philosophy of experiment**. University of Chicago Press, 1995.

SARTON, G. Boyle and Bayle, the Sceptical Chemist and the Sceptical Historian. **Chymia**, v. 3, 1950, p. 155-189.

SHAPIN, S. e SCHAFFER, S. **Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life**. 2011. Princeton University Press, 448 p.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N. e DELIZOICOV, D. Concepções sobre a natureza da ciência num curso de ciências biológicas: imagens que dificultam a educação científica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 157-181, 2007.

SIGANSKI, B. P.; FRISON, M. D. e BOFF, E. T. O. O Livro Didático e o Ensino de Ciências. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química, 2008, Curitiba - PR. **XIV ENEQ**, 2008. p.1-11.

SORELL, T. **The Cambridge Companion to Hobbes**. Cambridge University Press, 1996.

TAVARES, L. H. W. A História da Ciência nas Obras de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio: uma análise através do conceito de substância, 2010. 167 f **Dissertação (Mestrado)**– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2010

TERNES, A. P. L.; SCHEID, N. M. J. e GÜLLICH, R. I. C. A história da ciência em livros didáticos de ciências do ensino fundamental. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis,

ABRAPEC, 2009. Disponível em:

<<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1677.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018

VIANA, H. E. A Construção da Teoria Atômica de Dalton como Estudo de Caso – e Algumas Reflexões para o Ensino de Química. 106f. **Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)** Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VIDAL, P. H. O., PORTO, P. A. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO PNLEM 2007. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 291-308, 2012

VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e história da ciência. **Escritos** (Fundação Casa de Rui Barbosa), v. 1, p. 111-158, 2007.

WARTHA, E. J. e FALJONI-ALÁRIO, A. A contextualização no ensino de química através dos livros didáticos. **Química Nova na Escola**, São Paulo - SP, v. 22, p. 42-47, 2005.

WESTFALL, R. S. **A Construção da Ciência Moderna. Mecanismos e Mecânica**, Porto: Porto Editora, 2001

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education I 1979 **Phys. Educ.** 14, 108.

ZATERKA, L. **A filosofia experimental na Inglaterra do séc. XVII: Francis Bacon e Robert Boyle**. São Paulo: Associação Editorial Humanitas: Fapesp, 2004. 300p.

ZATERKA, L. Alguns aspectos da teoria da matéria: atomismo, corpuscularismo e filosofia mecânica. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. 329-352.

ZEBINA, M. O infinito e Deus em Hobbes. **Philosophos-Revista de Filosofia**, v. 8, n. 2, 2003.

APÊNDICES

Pré análise dos Livros de Química

LDQ1 – Capítulo 6 - O gás oxigênio e sua importância para a vida na Terra (p. 222, volume 1)

1. Inicia o capítulo de gases descrevendo como foi a identificação do gás oxigênio, que não foi atribuída a um único filósofo natural, mas a um conjunto, sendo eles: Carl Scheele (1742 – 1786), Joseph Priestley (1733 – 1804) e Antoine Lavoisier (1743 – 1794). Cita a teoria do flogisto. Fala sobre as formas de obtenção do gás oxigênio e cita Cornelius Drebbel (1572 – 1633), que projetou e construiu uma espécie de submarino (“alimento aéreo da vida”, aquecia salitre (nitrato de potássio), que, quando submetido a aquecimento, decompõe-se produzindo nitrito de potássio e gás oxigênio).
2. Continua o capítulo com interações intermoleculares, bem incomum por ser um capítulo sobre gases.
3. Descreve os componentes do ar atmosférico, gás oxigênio e os processos metabólicos, para estudar misturas de componentes gasosos.
4. Começa a explicação do comportamento dos gases em termos moleculares, apresentando as características dos gases ideais, entrando nas variáveis de estado.
5. Na explicação sobre “pressão”, cita Evangelista Torricelli (1608 – 1647) descrevendo como o mesmo mediu a pressão atmosférica a partir do experimento com mercúrio.
6. Termina de explicar as variáveis.
7. Ao iniciar o conceito de solubilidade do gás oxigênio na água e no sangue, descreve a lei de Henry. Cita William Henry (1775 – 1836), que, em 1801, resumiu conclusões sobre a relação entre a solubilidade dos gases e sua pressão parcial.
8. Entra em lei dos gases ideais ($P.V. = N. R. T.$), parte para a lei de Avogadro, citando-o, Amedeo Avogadro (1776 – 1856), descrevendo que o mesmo propôs duas hipóteses que foram importantes para o desenvolvimento da Química. A primeira sugeriu tratar os conjuntos de átomos por moléculas, sendo que esses conjuntos podiam ser constituídos por átomos do mesmo elemento químico ou de elementos químicos diferentes. A segunda ficou conhecida como lei de Avogadro, a qual foi proposta para tentar explicar os resultados obtidos por Joseph-Louis Gay-Lussac (1778 – 1850).
9. Entra em volume molar dos gases e cálculos estequiométricos envolvendo gases.
10. **Não aborda as transformações gasosas (isotérmica, isobárica e isovolumétrica), não cita Robert Boyle.**
11. Os Volumes 2 e 3 também não abordam nada sobre as transformações gasosas.
12. No Volume 1, Boyle é citado no início dos modelos atômicos, onde o livro traz que a concepção atomista para a matéria foi utilizada ao longo dos séculos e que só ganhou força por volta do século XVII, por conta da mudança na maneira de estudar a natureza, e então o livro cita René Descartes, Isaac Newton e Robert Boyle, enfatizando que serão estudados em outras disciplinas.

LDQ2 – Capítulo 9 – O comportamento dos gases (p. 168, volume 1)

1. Inicia o capítulo descrevendo os gases e entra em teoria cinética dos gases.
2. Começa a explicar as variáveis de estados de um gás e, quando conceitua pressão, cita Torricelli (1608 – 1647). Traz um quadrinho lateral “Química tem História” falando sobre Torricelli. Cita Galileu, dizendo que ele demonstrou experimentalmente o peso do ar. Descreve o experimento de Torricelli e finaliza dizendo que Pascal confirma um de seus resultados em 1647.
3. Define volume e temperatura, também traz um quadro “Química tem História” abordando Garret Augustus Morgan (1877 – 1963), que criou a máscara de gás.
4. Na página 170, começam as “Transformações Gasosas” com o seguinte texto:
5. *“Ao longo dos séculos XVII, XVIII e XIX, os cientistas estudaram as transformações provocadas por variações de pressão, volume e temperatura em uma massa fixa de gás. Essas transformações podem ocorrer com temperatura constante (isotérmica), com pressão constante (isobárica), com volume constante (isocórica ou isovolumétrica) e com variação das três grandezas (transformação geral).”*
6. **Define a isotérmica e cita que foi Robert Boyle (1627 – 1691) quem a estudou, dizendo que o mesmo observou que, quando se dobra a pressão em uma massa fixa de gás, seu volume cai pela metade.**

Transformações gasosas

Ao longo dos séculos XVII, XVIII e XIX, os cientistas estudaram as transformações provocadas por variações de pressão, volume e temperatura em uma massa fixa de gás. Essas transformações podem ocorrer com temperatura constante (isotérmica), com pressão constante (isobárica), com volume constante (isocórica ou isovolumétrica) e com variação das três grandezas (transformação geral). O prefixo “iso” vem do grego isos e significa “igual”.

Transformação isotérmica ou Lei de Boyle

Esse é o tipo de transformação que ocorre quando o gás contido em um recipiente é comprimido sob temperatura constante. Essa transformação foi estudada por Robert Boyle (1627-1691), que observou que, quando se dobra a pressão em uma massa fixa de gás, seu volume cai pela metade.

Imagine uma seringa de injeção sem agulha, com o orifício obstruído, contendo certa quantidade de nitrogênio, N_2 . Admitindo que esse gás esteja em condições ideais, ao se dobrar a pressão sobre o êmbolo da seringa, o volume de nitrogênio em seu interior cai pela metade.

Observe o esquema abaixo, que ilustra essa situação.

7. Ainda na mesma página, traz o quadro “Química tem História” referindo-se somente a Joseph Louis Gay-Lussac (Figura).

QUÍMICA TEM HISTÓRIA

Joseph Louis Gay-Lussac

Químico e físico francês, Joseph Louis Gay-Lussac nasceu em [...] 6 de dezembro de 1778, e faleceu em Paris a 9 de maio de 1850. Estudou na École Polytechnique, onde foi discípulo de Berthollet. Em 1809 assumiu a cadeira de Química da École Polytechnique e a de Física da Sorbonne.

Em 1804, designado pelo governo francês, fez duas ascensões em balão, com o objetivo de estudar as regiões elevadas da atmosfera. Suas investigações científicas foram coroadas de êxito, havendo, entre outros importantes resultados, averiguado a invariabilidade da composição do ar [...].

Em 1802, procedendo a investigações sobre o fenômeno da expansão dos gases [...] demonstrou que, “sob

pressão constante, o volume de um gás perfeito varia na razão direta da temperatura”. A *lei de Gay-Lussac*, também conhecida por *lei de Charles*, ou *lei de Charles e Gay-Lussac*, é simples corolário* do princípio estabelecido, em 1787, pelo físico francês Jacques Charles: “em volume constante, a pressão de um gás perfeito varia na razão direta da temperatura”. [...]

Esse princípio, conhecido como *lei das combinações simples* ou *lei de Gay-Lussac*, contribuiu decisivamente para o estabelecimento da hipótese de Avogadro.

ROCHA, M. Teoria atômico-molecular. *AllChem*. Disponível em: <<http://alchemy.iq.usp.br/metabolizando/beta/01/gay.htm>>. Acesso em: 7 mar. 2016.

* Corolário significa “dedução”.

8. Entra em transformação isobárica, citando Gay-Lussac como criador da lei e, depois na última transformação, isovolumétrica, cita Jacques Charles, dizendo que o mesmo estudou sobre tal transformação.
9. Constata-se que o livro não explica o P.V.=N.R.T., não citando nem mesmo Avogadro durante esse capítulo.
10. OBS: No capítulo 12 (Relações entre massas de átomos e moléculas), o livro retoma a lei volumétrica de Gay-Lussac, traz outro quadro “Química tem História”, destacando novamente Gay-Lussac, citando Avogadro, ao final do quadro, e o “Princípio de Avogadro”. A seguir, fora do quadro, descreve o princípio e novamente entra com outro quadro “Química tem História”, falando sobre Avogadro. Cita também Dalton, Berzelius e Stanislao Cannizzaro (1826 – 1910).
11. OBS₂: Ainda no capítulo 12, o livro aborda a Equação de estado dos gases e define a Lei de Dalton ao entrar em misturas gasosas. Em difusão e efusão, destaca Thomas Graham (1805 – 1869) e traz um quadro “Química tem História” para ele.

LDQ3

1. A primeira e **única citação de Boyle** aparece no capítulo dos modelos atômicos, na página 152, destacando que Newton, Galileu e Boyle usaram **a hipótese atomista na explicação das propriedades da matéria**.
2. Não aborda transformações gasosas e P.V.=N.R.T. em nenhum dos 3 volumes.

LDQ4 – Unidade 4 – Capítulo 12 – Gases: importância e propriedades gerais (pág. 252, volume 1)

1. No primeiro capítulo do livro, há uma descrição de como a Química surgiu em um quadro chamado “Viagem no tempo”, trazendo elementos interessantes que não apareceram em outros livros didáticos, como, por exemplo, quando o homem conseguiu “fazer” o fogo e a obtenção de metais a partir de minérios retirados da natureza (cobre 4000 a.C.), traz a ideia que “não se pode dissociar uma descoberta ou o desenvolvimento de um conjunto de conhecimentos do contexto em que eles tem lugar, isso quer dizer que todo processo de criação científica está intimamente ligado a múltiplos aspectos da sociedade em que ocorre – a organização social e econômica, as crenças religiosas, os aspectos psicológicos e filosófico.”
2. Destaca que a época de estruturação da ciência foi um período que se caracterizou pelo domínio da razão, experimentação, em oposição às ideias dominantes na Idade Média. Cita Galileu e a Santa Inquisição. **Retoma a ideia que a alquimia foi quem originou a Química e que vários povos a praticavam ao mesmo tempo.**
3. Depois de todas as descrições, muito interessantes de se ver aparecendo no livro didático, **temos a citação do Boyle como o primeiro estudioso que marcou o início da Química, destacando que o mesmo trouxe contribuições na área da Pneumática, fala sobre O Químico céptico.**
4. É citado Lavoisier como segundo estudioso que colaborou com a Química.

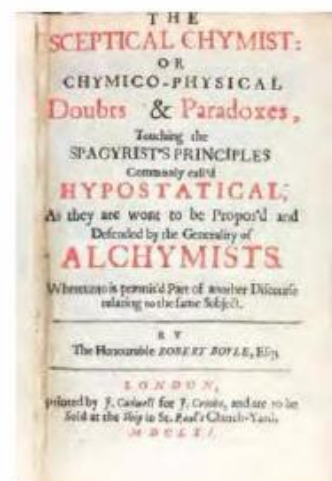
Os alquimistas realizavam um conjunto de práticas que tinha, entre suas principais motivações, a busca por uma maneira de transformar metais comuns em ouro e de obter um material que pudesse prolongar a vida; foi graças ao trabalho deles que muitos materiais foram obtidos. Pode-se dizer que foi da Alquimia que a Química, da maneira como é entendida hoje, se originou.

No entanto, considera-se que dois estudiosos marcaram a Química em seu início. O primeiro deles foi o estudioso irlandês Robert Boyle (1627-1691). Autor do livro *O químico céptico* (*The Sceptical Chymist*), desenvolveu suas pesquisas na Inglaterra.

Boyle realizou experimentos planejados, partindo da elaboração de uma questão que pretendia esclarecer. Para isso, realizou observações, medidas, anotações, elaborou hipóteses, testou-as, formulou explicações, repetiu procedimentos e, com base em muitos deles, estabeleceu generalizações. Deixou muitos trabalhos na área da Pneumática – do estudo dos gases, como veremos no capítulo 12.

O segundo foi o francês Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), que deixou inúmeras contribuições para o desenvolvimento da Química. Entre elas, vale destacar a introdução do uso da balança em seu trabalho experimental, assim como os estudos sobre a reação de combustão (que veremos mais adiante). Fez inúmeros experimentos, incluindo vários em que mediu as massas dos participantes de processos químicos. Formulou a lei da conservação das massas, sobre a qual nos aprofundaremos no capítulo 2.

Foi a partir dessa época, no final do século XVIII, que as técnicas para transformar os materiais passaram a ser exercidas usando uma metodologia baseada em investigações experimentais, próprias da Ciência moderna.



Página de abertura do livro de Robert Boyle, de 1661.

5. No capítulo 2 (Leis das reações químicas e teoria atômica de Dalton), o livro descreve o **desenvolvimento da Química** desde a **Grécia antiga**, fala sobre os **alquimistas** e traz **Boyle** novamente (figura).

Os alquimistas legaram à Química, por exemplo, receitas para a obtenção da pólvora, de alguns ácidos, bases e sais e do álcool (por meio da destilação do vinho). Supõe-se ainda que arsênio, antimônio, bismuto, fósforo e zinco tenham sido isolados pelos alquimistas. Também as técnicas de destilação e cristalização (que estudaremos mais adiante), além de equipamentos que utilizavam em seu trabalho, foram importantes contribuições para a Ciência moderna.

Durante o século XVII, no período em que a Química era gestada, alguns estudiosos se valeram de contribuições dos alquimistas – como técnicas e instrumentos de laboratório – e procuraram estabelecer generalizações com base em fatos experimentais. O irlandês Robert Boyle, por exemplo, foi responsável por sistematizar o conhecimento sobre muitos compostos e materiais formados por eles. A partir de experimentos realizados com gases, Boyle retomou algumas ideias dos filósofos gregos e formulou uma lei, que posteriormente ficou conhecida como lei de Boyle e que você conhecerá mais para a frente neste volume. Apesar de os estudos de Boyle terem pressuposto a existência de átomos, passou-se mais de um século para que essa ideia voltasse com John Dalton (1766-1844) de modo mais consistente.

Em seu livro *O químico cético*, Boyle tentou diferenciar os trabalhos desenvolvidos por **alquimistas** e **químicos**. Concluiu que o componente mais simples da Terra era um **elemento** e que dele não se poderia obter nada mais simples. Conhecendo o trabalho de um alquimista que obtivera o fósforo branco da urina, refez o experimento, porém usando o fósforo branco para produzir chama, criando a primeira versão do palito de fósforo.

Foi no final do século XVIII que a Química passou a ter uma fundamentação teórica consistente. Dentre os estudos que contribuíram para isso, podemos destacar os de Antoine-Laurent de Lavoisier. Já no início do século XIX, com a formulação da teoria atômica de Dalton (que veremos no final deste capítulo), a ideia da matéria constituída por corpúsculos indivisíveis, chamados átomos, atinge novo patamar, ao se associar aos trabalhos experimentais quantitativos – aqueles nos quais são realizadas medidas.

Robert Boyle foi um dos primeiros cientistas a criar teorias científicas com base experimental.



Elemento: nos textos que fazem referência aos conhecimentos que antecedem o século XIX, a palavra **elemento** tem significado diferente do que é atualmente atribuído a elemento químico, conceito que será analisado mais adiante.

Nomenclatura química

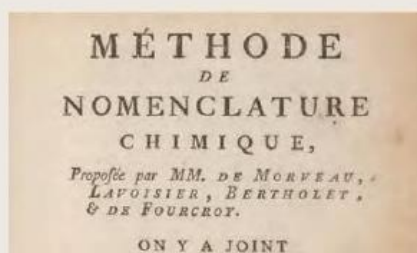
Antigamente, não havia uma **sistematização** para nomear as substâncias. Desse modo, o nome delas, bem como os símbolos para representá-las, eram incompreensíveis para pessoas que não fossem iniciadas pelos **alquimistas**. Observe:

Nome antigo	Símbolo utilizado pelos alquimistas	Nome atual
ácido vitriólico		ácido sulfúrico

Diante dessa situação, um grupo de cientistas – Louis-Bernard Guyton-Morveau (1737-1816), Claude-Louis Berthollet (1748-1822), Antoine-François Fourcroy (1755-1809) e Lavoisier – publicou, em 1787, o *Méthode de nomenclature chimique* (*Método de nomenclatura química*), obra que tinha como um de seus objetivos aperfeiçoar a linguagem química. Lavoisier e os colaboradores buscaram, na medida do possível, utilizar a composição da substância para compor seu nome (por exemplo, o cloreto de sódio pode ser obtido pelas substâncias cloro e sódio).

A definição de elemento químico para Lavoisier

Em seu livro *O químico cético*, Boyle introduziu a ideia de elemento. Baseando-se nas teorias de Boyle, Lavoisier chamou de elemento químico todas as substâncias que não podemos decompor por nenhum processo (por exemplo, aquecimento). Atualmente, o conceito de elemento é bastante diferente e será discutido no capítulo 4.



6. Continuando no capítulo 2, o livro cita Lavoisier e a teoria do flogístico, descreve algumas contribuições de Lavoisier, cita que Scheele descobriu o oxigênio e cita Joseph Priestley (1733 – 1804) e seus experimentos com gases.
7. Boyle aparece novamente, **o livro destaca que Boyle introduziu a ideia de elemento** e que Lavoisier se baseou em suas teorias e chamou de elemento químico todas as substâncias que não podemos decompor por nenhum processo.
8. No capítulo 12, o livro cita Joseph-Michel (1740 – 1810) e Jacques-Étienne Montgolfier (1745 – 1799), que aqueceram o ar que enchia um balão, conseguindo que ele subisse a uma certa altura. Cita Jacques Alexandre César Charles (1746 – 1823) e fala sobre dirigíveis que foram utilizados na segunda guerra mundial.
9. Novamente, Boyle aparece na página 254, **o livro descreve que Boyle utilizou balões em suas pesquisas**, motivado pelo estudo de fenômenos meteorológicos. O livro ainda diz que a invenção da máquina a vapor é um exemplo da importância do estudo dos gases, fundamental para a Revolução Industrial no século XIX.
10. Continuando o capítulo, cita Blaise Pascal (1623 – 1662) e Torricelli no estudo das variáveis de estado.
11. Galileu também aparece, o livro descreve que ele se interessou pela questão do vácuo depois de um jardineiro lhe dizer que sua bomba era incapaz de elevar a água acima de 10 metros. Torricelli, como seu discípulo, resolveu investigar o limite de altura ao qual uma bomba poderia elevar a água, concluindo que a água não subia para eliminar o vácuo, mas porque era empurrada pela pressão do ar.
12. Entra na Lei volumétrica, cita Gay-Lussac (1778 – 1850) e seus experimentos, depois o Princípio de Avogadro e as consequências do princípio. Traz um quadro “Viagem no tempo” sobre o Avogadro e cita Berzelius.
13. **Lei de Boyle**, Lei de Charles e Gay-Lussac e Lei de Charles. Lei dos gases ideais.
14. Antes de acabar o capítulo, o livro traz uma explicação do comportamento gasoso, falando sobre a teoria cinética dos gases, e cita Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) e James Clerk Maxwell (1831 – 1879).

Falamos em energia cinética média, pois as moléculas têm velocidades diferentes (tanto em módulo como em direção e sentido), que são alteradas a cada colisão.

Como você sabe, toda teoria ou modelo é formulada para explicar uma série de conclusões experimentais. A teoria cinética dos gases, desenvolvida na segunda metade do século XIX, foi capaz de explicar as leis de Boyle, Charles, Dalton e Gay-Lussac, além de ser coerente com os estudos sobre calor e temperatura desenvolvidos por James Prescott Joule (1818-1889) e William Thomson (Baron Kelvin, 1824-1907).

A abordagem desta coleção está voltada somente para os pressupostos essenciais dessa teoria, sem os aprofundamentos quantitativos que envolvem cálculos complexos. Ainda assim, é possível compreender que ela é capaz de explicar as leis anteriormente abordadas.

15. Explica todas as transformações e o princípio de Avogadro. Finaliza o capítulo com densidade dos gases e misturas gasosas.

LDQ5 – Capítulo 1 – A teoria cinética dos gases (pág. 9. Volume 2)

1. O volume 1 do livro traz, ao final do mesmo, um quadro “Conversa com o professor” (pág. 320) que possui um texto com o título “Ciência e sociedade”, o qual refere-se à teoria do flogístico, descrevendo-a. Cita Georg Ernst Stahl (1660 – 1734) e Johann Joachim Becher (1635 – 1682). **No mesmo texto discute a neutralidade da ciência, cita Francis Bacon (1561 – 1626), chega até a questão do mecanicismo e, então, cita Boyle, iniciando no trecho abaixo:**

“Alguns estudiosos da história da Química defendem a ideia de que a Química não se originou da alquimia, mas surgiu como um movimento diferenciado, a partir do século XVII, com a figura marcante de Robert Boyle e seus estudos de base “mecanicista”. Robert Boyle nasceu no castelo de Lismore, na Irlanda, em 25 de janeiro de 1627. Em 1645, foi morar no castelo de Dorset, na Inglaterra, dedicando-se à Teologia e à Química. Interrompia os estudos apenas para procurar, pela Europa, novos aparelhos para suas experiências. Também estudou anatomia quando esteve na Irlanda.”

*“A Química passou a consumir a maior parte de seu tempo e interesse quando começou a procurar um **conceito mais preciso de elemento**, que ele mesmo havia definido como “os corpos mais simples que constituem os corpos complexos e aos quais finalmente se chega decompondo estes últimos”. Assim, **Boyle preparou o terreno para as pesquisas de Lavoisier e de Dalton.**”*

2. O texto destaca a fonte como sendo o livro de PORTO, Paulo Alves. Van Helmont e o conceito de gás: Química e Medicina no século XVII. 1995. São Paulo: Educ, Enciclopédia Ciência Ilustrada Abril Cultural. Victor Civita (Editor). v. 7. 1971.
3. No LDQ5, o volume 1 não aborda o estudo dos gases, porém o conteúdo aparece no volume 2.
4. Analisando o volume 2, o capítulo 1 tem como título “Teoria cinética dos gases”, traz uma introdução sobre a meteorologia, utilização de barômetros, termômetros e higrômetros. Aborda a fórmula da energia cinética, define gás ideal.
5. Entra nas transformações gasosas e traz a isotérmica como **lei de Boyle-Mariotte**. Dentre os livros já analisados, percebemos que foi o primeiro que cita EdmeMariotte (1620 – 1684).

“Essa constatação experimental, conhecida como lei de Boyle-Mariotte, foi determinada em 1662 por Robert Boyle (1627/1691), na Inglaterra. Em 1676, o físico francês Edme Mariotte (1620/1684) repetiu o mesmo experimento e o divulgou na França, lembrando que ele já havia sido feito catorze anos antes por Boyle.”

6. Na transformação isobárica, aparece como primeira lei de Charles e Gay-Lussac, e a isovolumétrica como segunda lei de Charles e Gay-Lussac. Entra na equação geral dos gases e, depois, na Equação de Clapeyron, também o primeiro livro a trazer esse nome.

“O físico parisiense Benoît Paul Émile Clapeyron (1799/1864) estabeleceu uma equação que relaciona as três variáveis de estado de um gás – pressão, temperatura e volume – para uma quantidade de matéria igual a n (n de mols de partículas: átomos ou moléculas), descrevendo totalmente o comportamento de um gás ideal.”

7. O livro ainda destaca Clapeyron em um quadro “Curiosidade”:

Curiosidade



Benoît Paul-Émile Clapeyron

Benoît Paul-Émile Clapeyron nasceu em Paris, França, em 1799. Foi engenheiro e físico e seus trabalhos influenciaram o estabelecimento das leis da Termodinâmica.

Clapeyron estudou na *École Polytechnique* e na *École des Mines* antes de partir para São Petersburgo, em 1820, para lecionar na *École des Travaux Publics*, já que era especialista em construção de locomotivas e ferrovias.

Ficou por 10 anos na Rússia, onde integrou a equipe de engenheiros criada por Alexandre I para melhorar as estradas e pontes do país.

Voltou à França após a Revolução Francesa (julho de 1830), para trabalhar no projeto de construção de uma linha de estrada de ferro de Paris a Versalhes e St. Germain. Casou-se com Mélanie Bazaine, filha de Pierre-Dominique Bazaine (matemático e engenheiro civil).

Foi nomeado professor da *École Ponts de Chaussées* (1844) e eleito para a Academia de Ciências de Paris (1848). Trabalhou em um comitê de acompanhamento da construção do Canal de Suez e em um outro que analisou o emprego de máquinas a vapor na marinha. Faleceu em Paris em 1864.

8. No capítulo 2, temos as misturas gasosas, sendo abordada dentro de pressão parcial a lei de Dalton, e volume parcial a lei de Amagat, Émile Hilaire Amagat (1841 – 1915).
9. Difusão e efusão gasosas, traz a lei de Graham.
10. No capítulo 8, o livro fala novamente sobre Boyle, dentro do capítulo de Equilíbrios Moleculares, trazendo um pequeno quadro “Curiosidade”, e cita Péan de Sanit-Gilles (1862 – 1912).

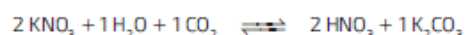
Curiosidade



O conceito de equilíbrio

O químico e físico irlandês Robert Boyle (1627-1691) foi provavelmente um dos primeiros cientistas a perceber que uma transformação química poderia ser revertida. O experimento que o levou a essa conclusão foi a decomposição do salitre (nitrato de potássio) por aquecimento, proveniente da queima de carvão vegetal.

A queima do carvão produz vapor de água e gás carbônico. Essas substâncias reagem com o salitre em decomposição, formando o que ele chamou na época “níttron volátil”, $\text{HNO}_3(\text{v})$, e “níttron fixo”, $\text{K}_2\text{CO}_3(\text{s})$.



Boyle observou que o “níttron volátil” era capaz de reagir com o “níttron fixo” reconstituindo o salitre e que, portanto, a reação era reversível.



Mais tarde, Péan de Saint-Gilles (1862-1912) estudou a reação entre um ácido e um álcool formando éster e água (esterificação).



Péan observou que em determinado instante essa reação estagnava, ou seja, ela não chegava a se completar, mas aproximava-se de um “limite”, que correspondia ao “equilíbrio”. Ele determinou, então, a cada intervalo de tempo, a quantidade de ácido que ainda não havia se transformado. Com base nos valores encontrados, calculou a quantidade de éster formado a cada instante, o que o levou à seguinte conclusão: “A quantidade de éster formado a cada instante é proporcional ao produto das massas das substâncias reagentes e inversamente proporcional ao volume”.

Foi com base nessas observações que os químicos Guldberg e Waage chegaram ao primeiro enunciado da Lei da Ação das Massas:

“A rapidez de uma transformação química é proporcional às concentrações (em mol/L) das substâncias reagentes”.

- 11.** Boyle aparece pela última vez em um quadro “Conversa com o professor” (pág. 334), em um texto intitulado “O desenvolvimento do termômetro”. Nesse texto são citados Ole Christensen Römer (1644 – 1710), Anders Celsius (1701 -1744), Carolus Linnaeus (1707 – 1778), René-Antoine Ferchault Réaumur (1683 – 1757), Robert Boyle, John Locke (1632 – 1704), Daniel Bernoulli (1700 – 1782), Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794), Claude-Louis Berthollet (1748 – 1822), Benjamin Thompson Rumford (1753 – 1814), William Thomson – Lord Kelvin (1824 – 1907), Joseph Black (1728 – 1799) e James Watt (1736 – 1819).
- 12.** Outro texto conversa com o professor, “Buscando uma definição para o calor”, são citados Francis Bacon e Ludwig Boltzmann.

LDQ6 – Capítulo 3 – Química e Ciência (pág. 81, Volume 1)

1. O capítulo 3 (Química e Ciência) é iniciado com um texto “Da Alquimia à Química”, que descreve o desenvolvimento da Química, e continua com “O método científico e o nascimento da Ciência moderna”, onde aparece a primeira citação de Boyle.

expectativa de vida cada vez maior. As conquistas tecnológicas, obtidas pela sociedade, trouxeram riqueza e melhor qualidade de vida, embora esses benefícios não estejam disponíveis a todos.

O método científico e o nascimento da Ciência moderna

No século XVII, começa a se estabelecer um novo modo de justificar os conhecimentos, com base em um moderno método experimental, centrado em observações meticulosamente controladas que pudessem desenvolver teorias demonstráveis matematicamente. O filósofo inglês Francis Bacon [1561-1626] e o filósofo francês René Descartes [1596-1650] estão entre os vários pensadores que contribuíram para o estabelecimento desse modo de pensar: o método científico. O físico italiano Galileu Galilei [1564-1642] e o químico irlandês Robert Boyle [1627-1691] estão entre os primeiros estudiosos a fazer uso dessa metodologia.

O novo método científico se consolidou e caracterizou o que chamamos hoje **Ciência moderna**. Essa nova forma de interpretar o mundo revolucionou diferentes campos de estudos e influenciou o modo de vida das pessoas. Seu objetivo é explicar a natureza e o universo no qual estamos inseridos. Enquanto os filósofos pensam sobre a causa da existência dos corpos, os cientistas se preocupam em explicar como eles se comportam.



▲ Em *Discurso do Método*, obra publicada em 1637, **Descartes** apresenta um modelo de pensamento que contribuiu para consolidar a nova forma de pensar que caracterizou a Ciência Moderna.

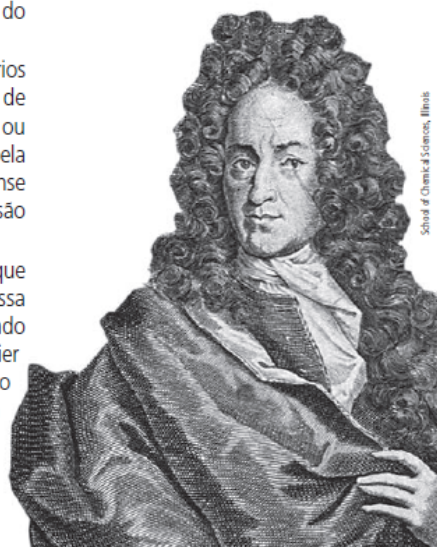
2. Continuando, temos outro título “O nascimento da Química Moderna”, onde são citados Paracelso (1493 – 1541), Boyle novamente, Georg Ernst Stahl (1660 – 1734) e a teoria do flogístico, Lavoisier, Joseph Black, Thomas Kuhn (1922 – 1996), Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786) e Joseph Priestley (1733 – 1804).

Lavoisier contribuiu, de maneira significativa, para o surgimento da Química como ciência experimental, ao propor uma alternativa à teoria do flogístico e consolidar um novo método de investigação coerente com os métodos científicos. O seu trabalho e o de outros químicos da época, como o escocês Joseph Black [1728-1799], contribuíram para demonstrar a necessidade do uso de balanças nos estudos da Química.

Essa nova forma de estudar processos químicos já era aplicada por vários cientistas e tem os trabalhos de Lavoisier como um marco na mudança de paradigma no estudo dessa área de conhecimento. Paradigma é o padrão ou o modelo que norteia nosso modo de viver, trabalhar, fazer Ciência. É pela mudança de paradigmas, de acordo com o físico e filósofo estadunidense Thomas Kuhn [1922-1996], que a Ciência se desenvolve. Essas mudanças são também chamadas **Revoluções Científicas**.

Historiadores das Ciências divergem quanto ao período e aos fatos que marcaram a **Revolução Química**. Porém, muitos concordam que essa revolução culminou, de fato, com o *Traité élémentaire de Chimie* (Tratado elementar de Química), publicado por Lavoisier em 1789. Nesse livro, Lavoisier apresenta uma definição operacional para elemento químico, rompendo com a concepção da teoria dos quatro elementos de Aristóteles e com a teoria do flogístico. A revolução promovida por Lavoisier se caracterizou pelo fato de os químicos passarem a utilizar um método característico

▼ A teoria do flogístico, que teve importância histórica na busca da compreensão da natureza da matéria, foi proposta pelo químico alemão Georg **Ernst Stahl** [1660-1734].



3. Continuando o capítulo, aparecem dois quadros “História da Ciência”, um falando sobre Lavoisier, e outro, sobre Vicente Seabra, o primeiro químico moderno brasileiro.
4. No mesmo capítulo, dentro do item 6 (grandezas do estado gasoso), é citado Torricelli (1608 – 1647), como inventor do barômetro.
5. O item 8, “Lei dos gases e teoria cinética dos gases”, traz as transformações gasosas e cita **Boyle na transformação isotérmica:**
6. *“O físico e químico irlandês Robert Boyle [1627-1691] foi quem iniciou o estudo da relação entre o volume de um gás e sua pressão. Além de perceber que, quando se aumenta a pressão sobre um gás, observa-se um decréscimo no volume o cientista também notou que o produto entre pressão e volume é aproximadamente constante. Todas as substâncias gasosas apresentam essa regularidade, que ficou conhecida como **Lei de Boyle.**”*
7. Em um quadro “História da Ciência”, destaca Boyle e tem como título: “Robert Boyle, o atomismo e o início da Química Moderna”.



História da Ciência

ROBERT BOYLE, O ATOMISMO E O INÍCIO DA QUÍMICA MODERNA

Robert Boyle, irlandês da cidade de Munster, nasceu em 26 de janeiro de 1627. Ele foi o décimo quarto filho do duque de Cork. De família nobre, estudou latim, grego, inglês, hebraico e até siríaco, um antigo idioma falado pelos sírios. Aos 8 anos de idade, entrou para o maior e mais famoso colégio inglês da época, o Eton College, onde estudou por três anos. Ao terminar seus estudos no Eton, percorreu o continente europeu e, na Itália, conheceu o famoso Galileu, que teve uma forte influência em sua decisão profissional: dedicar-se à Ciência.

Após seu regresso à Inglaterra, entrou para Oxford, o principal centro científico do país na época. Foi lá que Boyle teve a oportunidade de conviver com um grupo de brilhantes sábios dedicados à Ciência experimental, que dariam origem, segundo uma carta do rei, de 1660, à Sociedade Real. O cientista irlandês desenvolveu equipamentos para medir a pressão dos gases e fez diversos experimentos, a partir dos quais pôde propor a lei que ficaria conhecida como Lei de Boyle.

Boyle definiu elemento como substância “incapaz de sofrer decomposição por qualquer meio conhecido”. Era um atomista convicto e os seus trabalhos contribuíram para o nascimento da Química como Ciência, tanto pelas suas teorias como pela introdução do método experimental, que ainda não era largamente usado. O marco do surgimento da Química foi estabelecido com a obra de Lavoisier [1743-1794], aproximadamente cem anos depois, mas isso só foi possível graças ao trabalho anterior de diversos pensadores, entre os quais Boyle. Morreu em 30 de dezembro de 1691, aos 64 anos, e sua contribuição para o desenvolvimento das Ciências pode ser percebida pelo tributo que lhe prestaram na época: “Robert Boyle fareja a verdade”.




▲ Os estudos de **Robert Boyle** contribuíram, de forma significativa, para o surgimento da Química como Ciência.

123


8. Depois, o livro aborda a transformação isobárica e cita Jacques Alexandre César Charles e Joseph Louis Gay-Lussac, chamando de Lei de Charles e Gay-Lussac, e a isovolumétrica como segunda Lei de Charles e Gay-Lussac.
9. Entra na lei geral dos gases, depois, em teoria cinética dos gases e cita Amedeo Avogadro. Ainda, em teoria cinética, traz um quadro “História da Ciência” com o título “Teoria

Cinética dos gases e seus proponentes”, citando Daniel Bernoulli, Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann.




História da Ciência

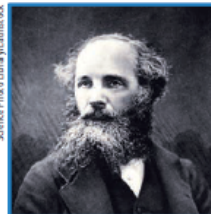
TEORIA CINÉTICA DOS GASES E SEUS PROPONENTES




Daniel Bernoulli
matemático e físico suíço
[1700-1782].



Rudolf Clausius
matemático e físico alemão
[1822-1888].



James Clerk Maxwell
matemático e físico escocês
[1831-1879].

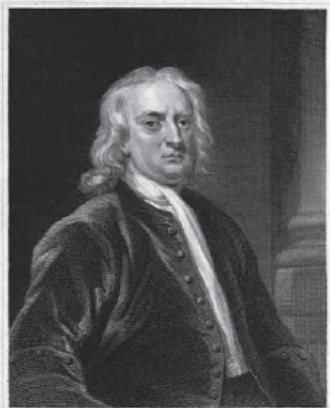


Ludwig Eduard Boltzmann físico
austriaco [1844-1906].

As teorias científicas são, em geral, propostas por um cientista, ou seu grupo de pesquisa, a partir de estudos desenvolvidos por diversos outros cientistas. No caso da teoria cinética dos gases, ela foi elaborada por diversos cientistas de diferentes nacionalidades, de forma que foi construída pela comunidade científica, não sendo produto de um único cientista ou grupo de cientista. Acima temos exemplos de alguns desses cientistas, que contribuíram para a elaboração da atual teoria cinética dos gases.

129

- 10. Boyle** aparece novamente no capítulo 4 (Do atomismo aos modelos atômicos, pág. 144), onde são citados René Descartes, Pierre Gassendi, Daniel Sennert, Isaac Newton, William Higgins e John Dalton.



▲ **Newton** é conhecido pela elaboração das Leis da Mecânica Clássica, todavia, dentre outros estudos ele desenvolveu uma teoria corpuscular para a matéria, considerando que ela é formada por partículas. As teorias com uma visão mecânica da matéria ficaram conhecidas como corpuscularismo, termo mais aceito na época do que o atomismo.

Mesmo assim, vários filósofos, começaram a reelaborar teorias para a natureza da matéria, considerando-a constituída por corpúsculos. Defenderam teorias corpusculares, o filósofo francês Pierre Gassendi [1592-1655], o filósofo francês René Descartes [1596-1650], o físico e filósofo alemão Daniel Sennert [1572-1637], o químico e físico irlandês Robert Boyle [1627-1691] e o físico inglês Isaac Newton [1642-1727]. Desses, são destacados os trabalhos de Gassendi, na França, e de Newton, na Inglaterra, os quais defenderam que os átomos permitiam conceber o mundo regido pelo vontade do Criador. Dessa forma, as teorias atomistas começaram a ter menos resistência, pois deixaram de ser vistas como teorias ateístas. Com isso, favoreceu-se a construção de novas teorias, com uma percepção mecânica da matéria, que ficaram conhecidas como corpuscularismo, termo que tinha menos rejeição do que o atomismo, que era considerado uma filosofia ateísta.

Pierre Gassendi é considerado o que teve papel central em recuperar o atomismo; suas proposições divergiam, de certa maneira, do atomismo grego. Os trabalhos de Boyle e Newton foram marcados por estudos com base na experimentação e no estabelecimento de relações matemáticas, que foram bem desenvolvidas por Newton. Boyle com dados experimentais apresenta uma nova concepção para elemento químico bastante diferente da teoria dominante na época dos quatro elementos aristotélicos. A noção de elemento químico, proposta por Boyle, rompia, então, com a visão anterior. Na sua teoria corpuscular, ele considerava que os elementos químicos eram corpúsculos que seriam os componentes últimos dos corpos. Assim, para ele, os elementos seriam “perfeitamente homogêneos e simples” e não deviam ser formados por outros materiais.

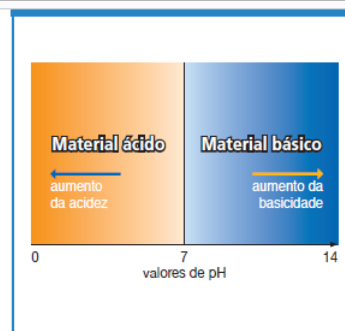
11. No volume 2 dessa coleção, **Boyle é citado no capítulo de ácidos e bases**, junto com Johan Baptist Van Helmont:

a dois grupos. Um deles constitui os ácidos e o outro, as bases.

Das ideias do alquimista vitalista belga Johan Baptist van Helmont [1580-1644] surgiu uma teoria ácido-base que classificava as substâncias de acordo com esse critério. Ele acreditava que poderia unificar a Química e a Fisiologia porque a fermentação de produtos da digestão de seres vivos segrega, ao fim, materiais ácidos ou básicos. Para ele, a relação entre os materiais orgânicos e inorgânicos poderia ser explicada pela teoria ácido-base. Ainda segundo essa teoria, toda substância, independentemente de sua origem, deveria conter um componente ácido ou básico.

O químico irlandês Robert Boyle [1627-1691] considerava um erro generalizar que todas as substâncias poderiam ser explicadas pela teoria ácido-alcalino. Segundo ele, o melhor método para identificar a acidez ou alcalinidade de substâncias era por meio de testes químicos bastante difundidos naquela época, como o da efervescência, do gosto e da mudança de cor. Note que, atualmente, é impensável provar o gosto de uma substância ou material desconhecido.

Esses testes deveriam ser estudados em conjunto, e somente substâncias que apresentassem resposta positiva a todos eles poderiam ser classificadas como ácidas ou alcalinas. O teste da mudança de cor já era bastante difundido, mas Boyle está entre os primeiros a notar que todos os ácidos, e não apenas alguns, realizavam a mudança de cor nas substâncias usadas como indicadores. Ele também foi um dos primeiros a perceber que os indicadores poderiam ser usados ainda para testar a alcalinidade.



▲ Qualquer material contendo água líquida apresenta um **valor de pH**. Quando esse valor é igual a 7, diz-se que o material é neutro.

A partir dos livros, tivemos o LDQ1, que trouxe Boyle somente como um estudioso da teoria corpuscular juntamente com Descartes, citando que o mesmo seria estudado em outras disciplinas, ou seja, o cientista está totalmente deformado, já que vimos na historiografia que Boyle não foi só isso. O LDQ2 abordou Boyle somente como quem propôs a Lei isotérmica e, posteriormente, citou-o no volume 2 como quem deu início aos estudos de indicadores ácido-base, abordagem incomum por ser Boyle, porém não trouxe nenhum elemento importante presente na historiografia. Já no LDQ3, tivemos um ponto positivo por ter retomado a figura de Gassendi, citando que o mesmo retomou os estudos sobre atomismo iniciando a corrente do pensamento mecanicista, entretanto, cita Boyle como filósofo que estudou a propriedade dos materiais a partir da hipótese atomista, e somente isso, não aborda nem no esperado “Lei de Boyle”.

O LDQ4 possui abordagens melhores sobre Boyle, a primeira citação aparece nos capítulos iniciais, na introdução do estudo da química e traz um dos principais elementos vistos na historiografia, a contribuição de Boyle à formalização da química como ciência. Destaca a obra “O Químico Cético”, que Boyle foi um dos primeiros a marcar o início da Química, realizando experimentos para esclarecer questões, e contribuiu para os estudos sobre Pneumática.

Aborda também a questão dos alquimistas, que foram de extrema importância para o desenvolvimento dos estudos de Boyle e, até então, nenhum outro livro havia abordado. No capítulo 2, aparece como cientista experimental, destacando também que a formulação da lei de Boyle foi baseada em ideias da filosofia grega. Destaca a definição de elemento por ele, salientando que o mesmo diferenciou o trabalho de alquimistas e químicos. Ao abordar Lavoisier, cita Boyle novamente, mostrando que o mesmo influenciou Lavoisier com seus trabalhos. No capítulo de gases, ainda no LDQ4, traz a Lei de Boyle, mas com uma visão distorcida. Até então, temos muitas contribuições citadas no LDQ4 “pecando” na abordagem sobre a Lei de Boyle, mas em comparação aos LDQ1, LDQ2 e LDQ3, o LDQ4 foi o mais adequado até então.

Retomando o LDQ5, o livro trouxe o texto de apoio ao professor com elementos muito importantes, mas que deveriam estar no texto dos alunos, contribuindo assim para desmistificação de deformações que foram discutidas. O texto trouxe a doutrina mecanicista, a invenção da bomba de vácuo, Boyle como experimentalista, o conceito de elemento e a filosofia corpuscular. Ambos importantíssimos e que estão presentes na historiografia. O LDQ5 abordou Boyle no capítulo de gases, trazendo o mesmo nas transformações gasosas e abordou a Lei de Boyle como Lei de Boyle-Mariotte, diferente dos outros 4 livros. O volume 2 trouxe uma

curiosidade importante ao mostrar que Boyle fez a decomposição do salitre, elemento importante que também estava presente na historiografia, contribuindo para Boyle definir elemento.

Finalmente, no LDQ6, observamos que foi o livro que “melhor” abordou a figura de Boyle, trazendo muitos elementos importantes. Boyle é citado nos capítulos iniciais, no qual o livro aborda a alquimia e mostra que a mesma foi importante no desenvolvimento da química como ciência, citando Boyle como experimentalista que contribuiu para os estudos mecanicistas. Dentre os outros livros, é o único a abordar Paracelso. Boyle é citado nas transformações gasosas e ganha um “quadrinho” sobre história da ciência, destacando seus principais feitos, como, por exemplo, ter se dedicado à ciência experimental, ter desenvolvido equipamentos para medir a pressão de gases (bomba de vácuo) e sua contribuição para o nascimento da Química como ciência, influenciando Lavoisier com suas obras.

Volta a ser citado no capítulo sobre história do atomismo, onde o livro retoma a história das ideias acerca da constituição da matéria, dos pré-socráticos, presente na historiografia, e muito importante, pois, como já discutido, auxilia para a compreensão de como as ideias relacionadas à estrutura da matéria foram se modificando com o tempo. Novamente, traz que Boyle defendeu a teoria corpuscular, apresentou a concepção de elemento a partir de estudos com base experimental e relações matemáticas, pontos de extrema importância também salientados na historiografia. No volume 2, volta a citar Boyle no capítulo sobre ácidos de bases. A partir dos pontos que foram destacados, podemos afirmar que dentre os seis livros, o LDQ6 possuiu uma abordagem muito mais adequada do que os outros. Claro que não seria a abordagem ideal, mas só de trazer boa parte dos elementos presentes no texto histórico, mostra-se o livro mais adequado na coleção do PNLD em relação às abordagens feitas sobre Robert Boyle.