

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

YANA BÁRBARA DA SILVA TEIXEIRA

**PROMOVENDO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DA
NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA “OS DIFERENTES ARES
OBTIDOS DA CAL VERMELHA DE MERCÚRIO”**

MANAUS - AM
2024

YANA BÁRBARA DA SILVA TEIXEIRA

**PROMOVENDO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DA
NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA “OS DIFERENTES ARES
OBTIDOS DA CAL VERMELHA DE MERCÚRIO”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Ettore Paredes Antunes

MANAUS - AM
2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

T266p	<p>Teixeira, Yana Bárbara da Silva</p> <p>Promovendo a alfabetização científica por meio da narrativa histórico-investigativa "Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio" / Yana Bárbara da Silva Teixeira . 2024</p> <p>141 f.: il.; 31 cm.</p> <p>Orientador: Ettore Paredes Antunes Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal do Amazonas.</p> <p>1. Alfabetização científica. 2. Natureza da Ciência. 3. Investigação histórica. 4. História da Química. I. Antunes, Ettore Paredes. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título</p>
-------	---

YANA BÁRBARA DA SILVA TEIXEIRA

PROMOVENDO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DA NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA “OS DIFERENTES ARES OBTIDOS DA CAL VERMELHA DE MERCÚRIO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática/PPG-ECIM da Universidade Federal do Amazonas/UFAM, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ettore Paredes Antunes	 Documento assinado digitalmente ETTORE PAREDES ANTUNES Data: 05/09/2024 15:36:11-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	_____
Presidente		
Profa. Dra. Irlane Maia de Oliveira	 Documento assinado digitalmente IRLANE MAIA DE OLIVEIRA Data: 05/09/2024 18:42:31-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	_____
Membro Interno		
Profa. Dra. Luciana Massi	 Documento assinado digitalmente LUCIANA MASSI Data: 05/09/2024 15:49:54-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	_____
Membro Externo		

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rosiane Monteiro e Ozivaldo Teixeira, que me forneceram imensurável apoio durante toda a minha vida em todas as minhas decisões. Nada do que eu sou seria possível sem vocês. O meu agradecimento é eterno pela maravilha de ter pais que me amam profundamente. Aos meus pais, também, o meu mais afetuoso eu amo vocês sempre, sempre e sempre.

Aos meus amigos de toda uma vida, Mateus Monteiro, Alan Monteiro e Lucas Monteiro, por compartilharem cada dificuldade e alegria das conquistas regando esses momentos com uma boa cerveja e uma conversa ainda melhor. Obrigada por acreditarem em mim com uma fé tão inabalável quanto a dos meus pais. Eu não poderia ter amigos melhores.

Ao meu bem-querer, Adílio Marques, por cada palavra e ato de afeto; cada viagem; cada passeio; cada fim de semana de filmes, jogos, karaokê, kikão, x-salada, sushi e conversas que atravessavam a noite; cada momento em que compartilhamos sonhos, medos, esperanças, tristezas, risadas e carinhos desejando uma imensidão de felicidade. Mesmo daqui a 10, 15, 20, 30, 50 anos, vou lembrar com ternura de tudo que tu significas para mim.

À toda a minha família, que comemora cada conquista, cada passo dado, cada alegria; mesmo que seja apenas com uma mensagem enviada pelo WhatsApp.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ettore Antunes, pela paciência para dedicar incontáveis horas me ensinando e me auxiliando em meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço por ter “vendido a minha alma” para você ainda na graduação, pois isso me permitiu trilhar um caminho de grandes oportunidades ao lado de um professor incrível.

À Universidade Federal do Amazonas, pela experiência acadêmica; ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, pela oportunidade de realizar o mestrado; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida para a pesquisa.

Existe muito mais a ser dito, muito mais para agradecer, tanto que não poderia ser expresso em poucas palavras em uma página; ainda assim, espero que, nesse número reduzido de caracteres, tenha sido possível demonstrar a gratidão que transborda em mim.

RESUMO

A alfabetização científica e tecnológica (ACT) almeja a formação que torne o estudante hábil para utilizar seu conhecimento sobre a atividade científica e sobre conceitos científicos em análises bem informadas e na tomada de decisões conscientes. Para tanto, é preciso viabilizar reflexões sobre a natureza da ciência (NdC), envolvendo o processo de construção da ciência e o estabelecimento da sua credibilidade, sobre escolhas feitas por cientistas, entre outros aspectos. Nesse sentido, diversas abordagens surgem para corroborar com este objetivo, entre elas encontra-se a investigação histórica, a qual pode fazer uso de casos históricos para simular o processo investigativo vivenciado por cientistas e, por meio de discussões, proporcionar tais reflexões. A narrativa histórico-investigativa (NHI), com este propósito, segue um personagem (fictício ou não) inserido no contexto do caso e define momentos de pausa, chamados de questões para pensar, nos quais os estudantes são engajados a refletir e discutir, sendo envolvidos ativamente no processo de investigação. O papel do professor é realizar a leitura do material e mediar o momento das questões para pensar fomentando as reflexões e exposições de ideias por parte dos estudantes, envolvendo-os na trajetória do personagem. Com base nisso, buscou-se refletir sobre as potencialidades de uma narrativa histórico-investigativa acerca da ruptura com a teoria do flogisto para promover a alfabetização científica; sendo este um caso histórico crucial no estabelecimento da Química e, de certa forma, no abandono dos conhecimentos mais relacionados à Alquimia e seus princípios. A NHI, chamada “Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio”, foi elaborada considerando esse caso, com o objetivo de oportunizar momentos de discussão e investigação ativa de estudantes a nível do Ensino Superior por meio de onze questões/atividades. Foram identificados os aspectos da natureza da ciência explorados na NHI e evidenciadas as suas contribuições para promover a alfabetização científica. Com isso, foi possível descrever como diferentes dimensões da ciência são envolvidas na NHI, como o papel do contexto sócio-histórico e cultural, o papel do acesso a recursos e investimento, o papel dos interesses humanos e outros na produção de conhecimento científico. Logo, a NHI se constitui como um recurso que tem a vantagem de oportunizar diferentes aprofundamentos do caso histórico, fomentando a visão da ciência como construção humana e histórica. Tais recursos para trabalhar com a história da ciência são ainda uma demanda na área, destacando a importância de olhar para essa necessidade e corroborar para um processo de ensino e aprendizagem que permite ao estudante o desenvolvimento de competências essenciais para sua vivência em sociedade.

Palavras-chave: Alfabetização científica. Natureza da Ciência. Investigação histórica. História da Química.

ABSTRACT

Scientific and technological literacy (STL) aims to provide students with the skills to use their knowledge of scientific activities and scientific concepts in well-informed analyses and conscious decision-making. To this end, it is necessary to give opportunities to think about the nature of science (NOS), about the process of constructing science and establishing its credibility, about choices made by scientists, and other aspects. In this sense, several approaches emerge to corroborate this objective, among them is historical inquiry, which can use historical cases to simulate the investigative process experienced by scientists and, thus, provide such reflections. The historical inquiry narrative, with this purpose, follows a character (fictional or not) inserted in the context of the case and defines moments of pause to present questions that problematize the NOS and promote NOS inquiry; therefore students are engaged to reflect and discuss, being actively involved in the investigation process. The teacher's role is to read the material and mediate the time for questions to encourage students to reflect and express their ideas, involving them in the character's trajectory. Based on this, we sought to reflect on the potential of a historical-investigative narrative about the rupture with the phlogiston theory to promote scientific literacy; this being a crucial historical case in the establishment of Chemistry and, in a certain way, in the abandonment of knowledge more related to Alchemy and its principles. The NHI, called "The different airs obtained from red lime of mercury", was developed considering this case, with the objective of providing opportunities for discussion and active investigation by students at the level of Higher Education through eleven questions/activities. The aspects of the nature of science explored in the historical inquiry narrative were identified and their contributions to promoting scientific literacy were highlighted. With this, it was possible to describe how different dimensions of science are involved in the historical inquiry narrative, such as the role of the socio-historical and cultural context, the role of access to resources and investment, the role of human interests and others in the production of scientific knowledge. Therefore, NHI is a resource that has the advantage of providing different in-depth analyses of the historical case, fostering the view of science as a human and historical construction. Such resources for working with the history of science are still in demand in the area, highlighting the importance of addressing this need and supporting a teaching and learning process that allows students to develop essential skills for their life in society.

Keywords: Science literacy. Nature of Science. History inquiry. History of Chemistry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Os quatro elementos apresentados nas esferas elementares	16
Figura 2 – Os quatro elementos e suas qualidades	16
Figura 3 – Processo de combustão de acordo com a teoria flogística	24
Figura 4 – Exemplo de quadro de instrução para o professor	50
Figura 5 – Robert Boyle, à esquerda, e a bomba de vácuo, à direita	53
Figura 6 – Stephen Hales, à esquerda, e um de seus aparatos para coletar ares, à direita	55
Figura 7 – “Cuba pneumática”, utilizada para coletar formas de ar	56
Figura 8 – Sala utilizada por Joseph para realizar seus estudos sobre os ares	57
Figura 9 – Henry Cavendish	59
Figura 10 – Joseph Black	60
Figura 11 – Carl Wilhelm Scheele	65
Figura 12 – Pierre-Simon Laplace	69
Figura 13 – Joseph Priestley	70
Figura 14 – Antoine Laurent Lavoisier	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dimensões de credibilidade da ciência, segundo Allchin (2011)	32
Quadro 2 – Critérios de inclusão e exclusão da revisão da literatura	40
Quadro 3 – Descrição das Questões para pensar da NHI	50
Quadro 4 – Características de formas de ar estudadas por Joseph e Thomas	62
Quadro 5 – Características do flogisto e do calórico, presentes em teorias sobre a combustão	66
Quadro 6 – Temas associados à natureza da ciência potencializados pelas Questões para pensar	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Alfabetização científica e tecnológica (ACT)

Natureza da Ciência (NdC)

História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC)

Narrativa histórico-investigativa (NHI)

Questão para pensar (QP)

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 1: A MUDANÇA DE COSMOVISÃO DA ALQUIMIA PARA A QUÍMICA	13
1.1 A visão mágico-vitalista e a Alquimia	13
1.2 A alquimia alexandrina	15
1.3 A alquimia árabe	18
1.4 A alquimia européia	20
1.5 A visão mecanicista e a Química	22
CAPÍTULO 2: ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, NATUREZA DA CIÊNCIA E ASPECTOS HISTÓRICOS	28
2.1 Perspectivas sobre a alfabetização científica	28
2.2 Perspectivas sobre natureza da ciência	30
2.3 A importância de um quadro histórico	34
2.4 Narrativa histórico-investigativa	36
2.5 Panorama da literatura	40
CAPÍTULO 3: OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA	45
CAPÍTULO 4: CONSTRUÇÃO DA NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA	46
4.1 Narrativa histórico-investigativa: Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio	53
CAPÍTULO 5: POTENCIALIDADES DA NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA	72
CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE I	104

APRESENTAÇÃO

Este texto se configura como uma apresentação pessoal a fim de contribuir para o conhecimento da trajetória desta mestrandia e para a justificativa da relevância desta pesquisa.

Diferente de muitas pessoas, não posso afirmar que meu desejo sempre foi atuar na área da educação. Pelo contrário, quando pensava na profissão docente existia uma associação aos problemas de desvalorização, de falta de recursos e infraestrutura nas escolas, entre muitos outros que ainda se fazem presentes. Mesmo com esses pensamentos, eu nutria uma admiração enorme pelos professores, devido a sua coragem, devido a sua luta diária por condições melhores, devido a sua crença na capacidade transformadora da educação.

No momento de escolher um curso na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), eu não acreditava que poderia ter pontos suficientes para ingressar em Engenharia Química, um desejo daquela época em que o termo engenharia parecia evocar tanto respeito e deslumbre. Foi, então, a admiração pela docência que me levou a optar pela Licenciatura em Química. Ao ser aprovada, o sonho de estar na UFAM falou mais alto e me inspirou a desistir da Licenciatura em Biologia que cursava na Universidade Estadual do Amazonas (UEA).

Ao longo do curso, percebi que a Química talvez não fosse a área que mais me despertasse interesse; me recordava bastante de cursar Biologia e do sentimento feliz ao aprender novas coisas. Todavia, a minha admiração pelo ensino e pelos professores só crescia, se tornava uma paixão e um desejo de fazer parte desse meio, de também participar dessa luta. Ao lado desta paixão, um novo tema me trouxe fascínio.

Os estudos na disciplina eletiva do curso, denominada Introdução à História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC), me instigaram, me levaram a questionar, a participar e a querer saber mais. Foi nesse momento que a pesquisa entrou na minha vida por meio de um convite do Prof. Dr. Ettore Antunes, que ministrou essa disciplina, para participar do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

A partir daí, iniciou-se minha trajetória nas pesquisas relacionadas a HFSC, com um apego especial pela História da Ciência, pois fiquei maravilhada com todo o contexto sócio-histórico que envolvia a Alquimia, o surgimento das ciências

modernas, assim como todos os aspectos envolvidos na construção do conhecimento científico. Em paralelo, também realizei pesquisas voltadas para a abordagem investigativa, que me apetecia devido a oportunizar uma participação mais dinâmica do estudante, além de ter uma variedade de formas de aplicação, podendo ser experimental ou teórica.

Estas temáticas me possibilitaram a alegria de publicar artigos e participar de eventos incríveis, contribuindo para a decisão de continuar os estudos após a graduação.

Ao fim do curso, eu já pensava em buscar o mestrado em ensino e me inscrevi para o Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM), no qual fui aprovada.

O apego pela História da Ciência foi decisivo para a escolha do tema da pesquisa e a alfabetização científica surgia como uma alternativa por envolver os aspectos da natureza da ciência, os quais também era do meu interesse. Mas o que fazer?

Por meio de pesquisas na literatura, descobri a investigação histórica e as diferentes formas de trazê-la à vida e foi um encaixe perfeito, pois eu tinha em frente a mim o caminho que me permitia unir tudo que me manteve ativa em pesquisa até ali. Este projeto foi elaborado com base nesta abordagem, no carinho pela História da Ciência, e com o auxílio do Prof. Dr Ettore Antunes, surpreendentemente ainda aguentando me orientar depois de tantos anos.

Devido ao interesse pela Alquimia sabia que queria trabalhar com algo que remetia ao uso desse conhecimento e ao processo de rompimento com ele. Sendo a ruptura com o flogisto um caso histórico com muitas potencialidades e de grande importância para o estabelecimento da Química como ciência, esse foi o recorte histórico escolhido.

Desde o início a ideia se voltava para o uso da investigação histórica, porém o primeiro pensamento foi de desenvolver uma oficina. Após a qualificação, pela contribuição da banca, o olhar se voltou para a elaboração de uma narrativa histórica-investigativa com o tema.

O processo para conceber esse recurso também se justifica nos poucos recursos com história da Ciência encontrados na literatura, não atendendo ao grande potencial da HFSC para o processo de ensino e aprendizagem.

Longos dias foram necessários para que a ideia fizesse o caminho da mente para a dissertação, passando por leituras do contexto sócio-histórico e cultural, de materias de Priestley e Lavoisier, leitura sobre a própria concepção de narrativa histórica-investigativa, como essa abordagem vinha sendo explorada em pesquisas e pensadas pelos pesquisadores, além da busca por base teórica em Douglas Allchin.

Quanto mais o recurso tomava a sua forma e estrutura nas páginas, mais crescia a crença de que aquele era um recurso com grandes potenciais e cada vez mais aquele processo se tornava um deleite, uma alegria por pensar com cuidado em detalhes e decisões que se uniam para conceber a narrativa histórica-investigativa “Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio”.

Por meio desse recurso, reconheço um completo misto de todos os interesses ao longo dessa caminhada, um reflexo meu e dos meus desejos e ideias. Porém, mais importante que isso, almejo uma contribuição significativa para as discussões sobre as potencialidades da história da ciência no que tange a alfabetização científica e a essencialidade da reflexão sobre aspectos da natureza da ciência para a formação cidadã.

Esta talvez não seja a trajetória mais bonita e admirável, mas é minha. É constituída pelos meus interesses e paixões, assim como pelas minhas descobertas sobre mim mesma no que tange a carreira que quero ter, aos meus objetivos profissionais. Ainda, foi o que permitiu a elaboração deste projeto.

Nas próximas páginas, são compartilhados os estudos e escolhas que fiz para este trabalho, porém, não somente isso, será também compartilhado mais um ponto da trajetória de uma pesquisadora fazendo pesquisa com o que verdadeiramente lhe traz a vontade de fazer pesquisa.

INTRODUÇÃO

O conhecimento científico é compreendido como uma construção humana que se desenvolve constantemente consoante a novas descobertas, novas teorias e novos questionamentos apresentados pela comunidade científica. Esse processo de construção apresenta dinamismo e complexidade, consistindo não apenas dos experimentos, como também da argumentação entre diversos cientistas por um longo período, além de outros aspectos.

O conhecimento científico produzido não é acabado e não pode ser visto como uma verdade absoluta, mas sim deve ser considerado um produto complexo indissociável do contexto sócio-histórico no qual toma sua forma.

Para compreender a ciência neste sentido, sem eliminar seus muitos traços formativos, a alfabetização científica surge como um caminho viável. A alfabetização científica, consoante ao que é discutido por Fourez (1997), almeja proporcionar uma compreensão de aspectos da ciência – da sua natureza – a fim de permitir que um cidadão seja capaz de refletir sobre decisões importantes que envolvem o conhecimento científico e comunicar suas ideias e pensamentos nesse âmbito.

Nessa perspectiva, a compreensão da natureza da ciência como defendida por Allchin (2017a, 2011) é essencial, uma vez que envolve o desenvolvimento da habilidade de realizar uma análise bem informada, com base nos conhecimentos científicos e, principalmente, no entendimento sobre como a ciência funciona e como ganha sua credibilidade.

O quadro histórico que deu origem ao conhecimento científico é de suma importância para compreender o processo da ciência (Fourez, 1997; Allchin, 2017a; Allchin, 2011), permitindo desenvolver uma atitude mais crítica e reflexiva frente às decisões que envolvem a ciência.

No entanto, tanto na educação básica quanto na universidade (Cachapuz et al., 2005) é apontada a existência de uma transmissão de conceitos e técnicas que são pouco formativos de uma ampla compreensão da ciência como uma construção humana. Essa dinâmica, na verdade, favorece uma concepção inadequada, afastada de aspectos sócio-históricos e moldada como algo absoluto e acima de tudo e todos.

A alfabetização científica busca o contrário disso, tendo em essência a discussão sobre a natureza da ciência, permitindo a compreensão da construção da ciência e dos seus aspectos a fim de proporcionar o desenvolvimento de habilidades

para questionar a ciência quanto a sua origem, suas relações, seus fundamentos, a visão de mundo que está associada a ela.

Uma forma de propiciar uma reflexão sobre a natureza da ciência é por meio de materiais que utilizam um caso histórico almejando promover tal reflexão e contribuir para a alfabetização científica. A narrativa histórico-investigativa é um tipo de material já em uso na literatura, a qual demonstra sua grande potencialidade em permitir a compreensão da natureza da ciência (Allchin, 2017b), de modo que potencialmente se qualifica como um instrumento para promover a alfabetização científica.

Ainda que não exista uma única visão da ciência, um modelo perfeito a ser seguido, pode-se traçar uma linha que impossibilite apresentar como fatos, concepções que são contrárias à sua essência. A discussão da história da ciência no processo de ensino e aprendizagem viabiliza uma visão mais adequada, ao desmistificar a imagem da ciência absoluta e verdadeira, contribuir para a formação de um pensamento crítico e desenvolver a visão da complexidade da construção do conhecimento.

A construção do conhecimento químico, em uma perspectiva histórica, está relacionada com a Alquimia, a qual é comumente taxada como algo essencialmente místico e oculto. No entanto, ao entender que o conhecimento é construído em um contexto sócio-histórico e cultural e seguindo um paradigma, observa-se que a Alquimia era uma forma de conhecimento que fornecia explicações sobre os fenômenos de acordo com os valores cognitivos de uma concepção mágico-vitalista de mundo.

Os saberes alquímicos tinham por base a crença de que toda matéria apresentava uma alma vital, que havia uma relação entre o macrocosmo e o microcosmo, que tudo estava conectado e que era possível causar transformações na matéria por meio do uso de técnicas, além disso tinham uma linguagem simbólica e alegórica (Alfonso-Goldfarb, 2005; Costa, 2002).

Por volta do século XVII, quando surge o conceito de ciência moderna, estabelece-se uma visão mecanicista do mundo como um novo paradigma. Nesse sentido, a Química toma a forma de uma ciência prática e mensurável, enquanto as teorias alquímicas passam a ser descartadas, ridicularizadas e distorcidas, principalmente em relação à misticidade que estava em sua essência e em seus famosos objetivos, a pedra filosofal e o elixir da longa vida.

Com esse novo paradigma, inicia-se uma lenta ruptura com a concepção mágico-vitalista em virtude da busca por um método considerado lógico e sistemático, que pudesse levar o conhecimento a ser considerado científico. Esse processo de transição acontece em virtude do consenso sobre qual caminho a comunidade deve seguir, a forma como o conhecimento deve ser produzido, entre outros aspectos inerentes à natureza da ciência. No entanto, esses traços complexos da construção histórica da ciência são, diversas vezes, ocultos (Alfonso-Goldfarb, 2005).

Para que seja possível uma melhor compreensão do que é a ciência, de sua essência, de sua construção, de suas características complexas, é necessário impedir que continue se propagando, no processo de ensino e aprendizagem, um recorte histórico distorcido e linear, sendo substituído por uma alfabetização científica que permite o espaço para refletir e criticar.

Na literatura, apesar da abundância de trabalhos que se voltam para as discussões sobre a natureza da ciência e sobre a alfabetização científica, ainda é possível identificar uma lacuna em relação a recursos que contribuam para o processo de ensino e aprendizagem abordando adequadamente essas discussões e a história da ciência.

Logo, diante do que foi apresentado, surgiu a questão “como promover a alfabetização científica a partir de uma narrativa histórico-investigativa utilizando um tema da História da Química?”.

Por conseguinte, o objetivo da pesquisa foi traçado no sentido de evidenciar as potencialidades de uma narrativa histórico-investigativa abordando a ruptura com a teoria do flogisto para promover a alfabetização científica. Com esse intuito, a dedicação foi orientada para i) propor uma narrativa histórico-investigativa abordando a ruptura com a teoria do flogisto; ii) identificar aspectos da natureza da ciência explorados na narrativa histórico-investigativa; e iii) apontar discussões sobre os aspectos da natureza da ciência suscitadas pela narrativa histórico-investigativa e suas contribuições para promover a alfabetização científica.

A estrutura da pesquisa se inicia, no capítulo um, com a discussão de uma perspectiva histórica da transição entre o paradigma que fornece os fundamentos para a Alquimia e o paradigma da ciência moderna que estabeleceu a Química, com base em referências de destaque desta área de estudo como Alfonso-Goldfarb (2005) e Bensaude-Vincent e Stengers (1996).

No segundo capítulo, encontram-se as perspectivas sobre alfabetização científica e natureza da ciência adotadas para a pesquisa. Além disso, é destacado como os aspectos sócio-históricos são indissociáveis do desenvolvimento da ciência e que são valorizados na alfabetização científica para promover uma formação mais complexa, em que o indivíduo é capaz de ter pensamento crítico e reflexivo em relação ao conhecimento científico. Ainda, é explicado sobre a narrativa histórico-investigativa, uma forma de problematizar a ciência e envolver os estudantes em soluções de problemas (comparada ao fazer-ciência), que ganha espaço na literatura devido a sua grande potencialidade.

Em seguida, no capítulo três, são apresentados os objetivos e o problema de pesquisa e, logo após, no capítulo quatro, é feita a descrição do percurso do método adotado para o trabalho. Nesse tópico, é detalhado o passo a passo das decisões tomadas para a elaboração da narrativa histórico-investigativa com o tema da transição da Alquimia para a Química, que tem por base a ruptura com a teoria do flogisto e foi denominada de “Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio”. As especificações consideram referências tomadas, decisões de caráter textual e visual, bem como as escolhas para elaboração das questões para pensar, característica pertencente a uma narrativa histórico-investigativa.

Essa mesma narrativa histórico-investigativa é esmiuçada no capítulo cinco, em que é feita uma análise das potencialidades de contribuição do material para trazer reflexões e discussões sobre a natureza da ciência e promover a alfabetização científica. Por fim, são apresentadas as considerações finais da pesquisa.

CAPÍTULO 1: A MUDANÇA DE COSMOVISÃO DA ALQUIMIA PARA A QUÍMICA

No primeiro capítulo, apresenta-se um recorte da história da Química, seguindo principalmente as obras de Bensaude-Vincent e Stengers (1996), Alfonso-Goldfarb (2005) e Greenberg (2009) – os quais se dedicaram a apresentar essa trajetória importante. Consoante aos fins da pesquisa, não se busca aqui fazer uma historiografia detalhada, e sim caracterizar com os aspectos mais importantes dois temas: os saberes alquímicos e o episódio de divergência entre a teoria do flogisto e a teoria do oxigênio.

1.1 A visão mágico-vitalista e a Alquimia

As teorias alquímicas se desenvolveram a partir de uma visão de mundo mágico-vitalista presente na sociedade antes do estabelecimento da visão mecanicista. No entanto, a magia é definida de forma divergente da imagem formulada sobre esse termo na contemporaneidade.

A magia está associada a técnicas para modificar o estado natural de algo para fins humanos, sendo “um empreendimento do homem para evocar mudanças vantajosas, tentando desviar ou redirecionar o andamento das coisas para colocá-las a seu serviço” (Brüseke, 2004, p. 167). Em outras palavras, os mágicos buscavam realizar alterações na natureza, que surgem como necessidades sociais, com processos definidos e elaborados por sua comunidade.

As técnicas mágicas são “manipulações de objetos, aplicações de fórmulas secretas e outros procedimentos, enfim, em um rito que segue uma causalidade magicamente entendida” (Brüseke, 2004, p. 210). Na alquimia, tais manipulações fundamentam-se no vitalismo, como é observado nas descrições da metalurgia:

[...] a mãe terra guarda em seu ventre os embriões metálicos que, como sementes, vão se desenvolver e se transformar. [...] Aos mineiros caberá a difícil missão de conseguir permissão junto aos guardiões da divindade terrena, para poder nela penetrar e arrancar-lhe os minerais. Estes minerais, como seres vivos que são, comportam-se muitas vezes como pequenos animais, pois, segundo a mitologia mineira, escondem-se ou se deixam ver e apanhar [...] (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 43).

Apesar de a magia se preocupar fundamentalmente com o resultado das manipulações feitas, pois serve para resolver problemas do cotidiano por meio de técnicas, o vitalismo associado a ela dá importância às doutrinas por trás daqueles feitos.

O vitalismo considerava a existência de uma força vital responsável por todos os fenômenos que se referem aos seres. Dentro deste paradigma, não havia somente as técnicas por si, uma vez que se lidava com uma alma em todo processo em que a matéria natural estava envolvida. Portanto, o trabalho de um alquimista extrapola a técnica, pois considera-se lidar com a própria divindade por meio do rito mágico.

Logo, considerando sua origem nas técnicas mágicas e no vitalismo, a alquimia se institui como um saber “a partir de uma sabedoria que procura compreender as relações cósmicas do homem com a matéria” (Vargas, 2017, p. 70).

A concepção mágico-vitalista afirmava que o microcosmo, relacionado a humanidade, era um reflexo do macrocosmo, tudo que envolve o universo; desse modo, de uma perspectiva vitalista, os metais também passavam pelas etapas de nascimento, morte e vida, e, assim como humanos, apresentavam doenças chamadas de imperfeições (Costa, 2002).

Isso acontece porque acreditava-se que tudo era proveniente do Uno, uma ideia oriunda da filosofia mística, apresentando aspectos da filosofia platônica. O Uno é a união de tudo, a totalidade de tudo. De forma simples, pode-se entender o Uno como uma mesma matéria que se apresenta de diferentes formas devido aos processos distintos pelos quais passou.

Logo, tanto metais quanto humanos apresentam a mesma origem, são a mesma matéria, têm a mesma alma, o que poderia ser observado ao curar o metal das suas imperfeições levando-o a sua forma original, ao Uno, pois “o processo alquímico é uma reconstrução microcós mica do processo de criação ou em outras palavras uma recriação” (Vargas, 2017, p. 72).

É, então, na concepção mágico-vitalista, com a união de saberes mágicos e outros, como a astrologia, a filosofia e até mesmo aspectos religiosos, que surgem as teorias alquímicas e seus ritos e linguagens característicos, bem como seus tão famosos objetivos: a transmutação de metais comuns em ouro e o elixir da vida. No entanto, Vargas (2017) chama a atenção que a busca pela transmutação não é o único fim da Alquimia e afirma:

A alquimia é muito mais que uma forma rudimentar de ciência experimental. A busca da transmutação da matéria inanimada, os metais, é apenas um objetivo incidental. Com isto ela busca provar sua mais essencial e ampla proposta da unidade de todas as coisas (Vargas, 2017, p. 72).

Apesar de não ser possível determinar com precisão a origem da Alquimia, por meio de registros históricos identifica-se suas raízes chinesas, egípcias e árabes, além de sua proximidade com técnicas de mineração e de fabricação de cerâmicas, tintas e bebidas (Chassot, 1995; Alfonso-Goldfarb, 2005; Vargas, 2017); que remontam a períodos anteriores a Cristo.

Para os propósitos desta pesquisa, segue-se a formação da alquimia alexandrina e a presença da alquimia chinesa, dois corpos de conhecimento que foram determinantes para a formação da alquimia árabe, que chega até o centro europeu, considerado o local da queda da Alquimia e estabelecimento da Química.

1.2 A alquimia alexandrina

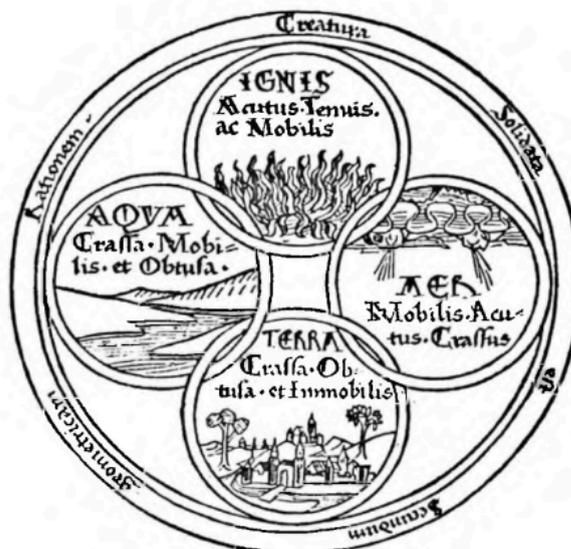
A formação da alquimia alexandrina envolve o encontro das ideias de magia, associada aos persas, e astrologia, associada ao povo babilônico, com os estudos sobre a matéria desenvolvidos por Aristóteles e a sua teoria dos quatro elementos e as qualidades associadas a eles.

Essa teoria se baseia no pensamento de Empédocles, filósofo grego que viveu em torno de 400 a. C., de que a matéria é formada em essência pelos quatro elementos primordiais: terra, ar, água e fogo. De acordo com Greenberg (2009), essas ideias já estavam presentes no Egito, na Índia e na China muito antes – por volta de 1500 a. C., mas as ideias de Empédocles foram aquelas que estiveram próximas a Aristóteles, outro filósofo grego de grande importância.

Já por volta de 300 a. C., Aristóteles propõe que cada elemento está associado a um par de qualidades harmônicas e imateriais, que se tornam materiais na forma do elemento: a terra é seca e fria, o ar é quente e úmido, a água é úmida e fria, e o fogo é quente e seco.

Eles eram apresentados em esferas elementares, tendo espaços específicos e distintos: o fogo na esfera superior, em seguida, o ar, a água e, por fim, a terra. De forma que, quando retirado de sua esfera natural, o material tendia a retornar, como a chama subindo para o céu, buscando a esfera elementar do fogo (Alfonso-Goldfarb, 2005).

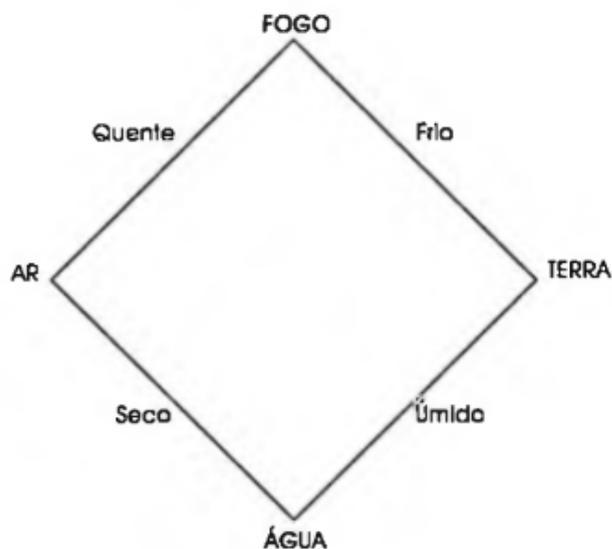
Figura 1 – Os quatro elementos apresentados nas esferas elementares.



Fonte: GREENBERG, 2009, p. 4.

Por meio dessa teoria, Aristóteles formulou também sua ideia mais importante para as teorias alquímicas: a possibilidade de mudar as qualidades de um material para que ele se tornasse outro. As relações entre as qualidades e os elementos e a forma que acontece a mudança de qualidades é melhor observada ao utilizar a representação por meio de um quadrado com as qualidades contrárias em vértices opostos.

Figura 2 – Os quatro elementos e suas qualidades.



Fonte: GREENBERG, 2009, p. 5.

Seria possível alterar uma ou até as duas qualidades de um material, sendo que mudar apenas uma era um processo mais rápido e simples. Para a mudança, deveria ser considerada a impossibilidade de que o resultado apresentasse duas qualidades iguais (quente/quente) ou qualidades contrárias (quente/frio) (Alfonso-Goldfarb, 2005).

Assim, um líquido (rico em água) é frio e úmido, enquanto seu vapor (rico em ar) é quente e úmido. Para vaporizar um líquido, basta adicionar calor - deslocar-se da aresta frio para a aresta quente do quadrado. Para dissolver um sólido (rico em terra), adicione úmido; para queimar o sólido, adicione quente (Greenberg, 2009, p. 5).

A partir disso, surge a ideia de transformar metais em ouro, tornando-os nobres e curando-os de suas impurezas, o que ocorria ao promover o equilíbrio entre princípios, pois o ouro apresentava tal equilíbrio, sendo equivalente ao perfeito. O rito consistia, em suma, na adição de qualidades auríferas, ao metal.

Em resumo, trazendo estas máximas para a alquimia chega-se à conclusão de que a *metalidade* dos metais não depende de sua matéria, mas das qualidades que a última vier a tomar. Para o caso do ouro, por exemplo, se fosse possível retirar deste material a qualidade aurífera, esta mesma qualidade (sob forma de “espírito” ou “tintura”) poderia ser utilizada para a transformação de outros metais em ouro (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 60).

A transmutação de metais não somente tinha por objetivo adquirir um metal de estimado valor, uma vez que o ouro alquímico também seria utilizado para tornar o homem imortal. Entende-se então, que esta é a base para a busca do elixir da vida, ou pedra filosofal, uma substância transformadora que “seria capaz de curar as imperfeições dos metais enobrecendo-os para se transformarem em ouro, símbolo do perfeito e incorruptível [...], seria capaz de curar enfermidades no humano e prolongar sua vida” (Vargas, 2017, p. 70).

A essência vital encontrada no ouro alquímico era, por sua vez, extraída de plantas e animais que, ao transmitirem ao metal comum sua carga energética, supririam as deficiências do metal, acelerando seu processo de geração e tornando possível sua transmutação. Daí surge a ideia do “elixir” ou agente catalisador, não só acelerando o processo, mas também transmitindo seu potencial de vida [...] que devolveriam o vigor e a força da juventude, garantindo até a imortalidade a quem soubesse dosar devidamente (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 65).

Existia a crença de que os metais se tornariam ouro naturalmente, em um processo que levaria muito tempo, milhares de séculos até atingir a forma mais nobre e pura entre os metais. Porém, os alquimistas, conforme Bensaude-Vincent e Stengers (1996) buscavam acelerar esse processo de séculos ao reproduzi-lo em um laboratório levando dias.

É descrito um rito, um processo de como deveria ser feito todo o procedimento para realizar a transmutação, o qual os alquimistas buscaram replicar em seus laboratórios para obter os resultados. Nesse sentido, Alfonso-Goldfarb (2005) entende a Alquimia como “investigação sobre a natureza da matéria e prática laboratorial para nela interferir, define-se primordialmente pelo desejo de conquistar o tempo” (p. 12).

Porém, os aspectos da alquimia que se referem a investigação da matéria e suas transformações é substituído por uma visão mística – a qual se volta para a contemplação dos fenômenos, tomando como algo imensamente poderoso, misterioso e, de certa forma, irracional (Brüseke, 2004). Ainda que exista algo de místico na magia, esta busca certa racionalização por meio do uso das técnicas, diferindo do caminho tomado pela mística.

“Só muitos séculos depois, com o florescimento da cultura árabe, voltaria a alquimia a ser o desvendar de novos mistérios da matéria e não apenas citada como texto simbólico e filosófico” (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 63).

1.3 A alquimia árabe

Costa (2002) e Vargas (2017) apontam que a alquimia, durante seu percurso, apresentou dois aspectos que originaram vertentes distintas naquela desenvolvida pelos árabes.

A primeira delas era puramente espiritual, caracterizava-se pelo místico, buscando o aperfeiçoamento pessoal e material associado ao divino e a alma imaterial. A alma do alquimista era transformada e purificada tal qual a alma do metal em sua transmutação para o ouro.

Já a segunda vertente “centralizou-se na sua componente prática e permite encarar a alquimia como uma arte ou ofício no qual são estudadas as relações e afinidades das coisas através de testes empíricos” (Costa, 2002, p. 29). É nesta vertente que se encontram os laboratórios alquímicos e processos como a destilação, o tingimento, a metalurgia e as práticas medicinais.

Por este motivo, esta vertente foi considerada mais próxima das práticas químicas que viriam a se estabelecer muito tempo depois, uma vez que se configurava como algo que poderia ser reproduzido: “as operações são descritas com cuidado e precisão, as quantidades de reagentes e o seu grau de pureza são determinados, os índices precisando o momento adequado para as diferentes etapas são indicados” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 28).

Todavia, os árabes não somente continuaram a desenvolver o que estava presente na alquimia alexandrina, mas formaram um trabalho com atributos e contribuições próprios. Por exemplo, nos processos descritos pode-se identificar o uso de material orgânico, como o sangue, a cebola e a mostarda (Alfonso-Goldfarb, 2005); o que não era feito pelos alquimistas alexandrinos.

O corpus de conhecimento árabe apresentou características mais práticas, considerando proporções e quantidades associadas aos processos, além de estudos sobre a composição de metais. Existem documentos que descrevem processos claros sobre preparo de ácidos e obtenção de substâncias, como a extração de sal amoníaco da urina, processos como banho-maria, sublimação, separação de misturas, fabricação de sabão, ligas metálicas; assim como o uso de dispositivos apropriados, como o cadinho perfurado (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Uma evidência da investigação de vertente mais prática são os métodos jabirianos que Alfonso-Goldfarb (2005) menciona.

Encontramos em seus tratados a observação da mudança de cor da chama, segundo o metal aplicado a esta, e o tratamento dos metais com as chamadas “águas agudas” que, provavelmente, eram fruto da destilação das mais diversas substâncias (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 86).

A autora também indica que as obras de Jabir entendem a transmutação de metais como uma questão de proporção e quantidades. De acordo com o corpus, o metal era formado por quantidades de mercúrio (frio e úmido) e enxofre (quente e seco) de forma que duas destas naturezas (ideia baseada na teoria de qualidades dos quatro elementos formulada por Aristóteles) eram externas e duas internas. A transmutação seria um processo de ajustar as proporções das naturezas externas e internas do metal para que se assemelhasse a proporção existente no ouro.

À vista disso, conclui-se que a alquimia árabe tinha domínio sobre diferentes práticas, como a destilação, e contribuíram para aquilo que viria a ser a iatroquímica,

de aplicação medicinal. É devido a isso que a alquimia árabe apresenta tanto destaque:

[...] nunca antes um corpo alquímico teve tal riqueza de elementos, combinados com uma fluidez e uma concordância tal que a tornaram insuperável enquanto prática viva, vindo a ser apenas complementada, posteriormente, pela alquimia medieval e pela iatroquímica renascentista (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 77).

A relevância da alquimia árabe tornou até comum que a considerem como uma química leiga, um início da base experimental, no entanto toda a doutrina que a fundamentava é distante dos padrões de ciência exigidos no período da Idade Moderna para que a química fosse reconhecida como tal. O que se pode de fato afirmar é que os árabes já desenvolviam um conhecimento reprodutível.

1.4 A alquimia europeia

Por volta do século XII, territórios da Espanha que estavam sob o domínio islâmico foram retomados, permitindo que a alquimia árabe fosse introduzida na Europa. Os europeus passaram a possuir e a traduzir as obras de alquimia árabe.

Influenciada pela astrologia e outros aspectos, como a relação entre macro e microcosmo, a simbologia alquímica se desenvolve “intimamente ligada a uma concepção holística do universo, na qual tudo estava interligado e a natureza devia ser entendida como uma entidade activa, orgânica e animista” (Costa, 2002, p. 30).

Dessa forma, os símbolos dos metais eram associados aos corpos celestes e deuses, por exemplo, o ouro era representado pelo Sol, pois este é o corpo celeste mais reluzente assim como se caracterizava o metal considerado perfeito (Greenberg, 2009). O processo ao qual um metal era submetido também apresentava uma simbologia própria, assim como o metal após o processo, por exemplo a sublimação era representada por ☉ e o mercúrio sublimado por ☿.

Apenas observando a influência da astrologia na simbologia alquímica é possível perceber sua riqueza e as relações mantidas com a natureza, mas ainda haviam outras representações presentes nessa linguagem, como o uso de animais para representar processos e vidrarias, bem como a simbologia de reis, rainhas e criaturas mágicas em imagens pictóricas que representavam as etapas do trabalho alquímico (Costa, 2002; Greenberg, 2009).

Logo, os tradutores e copiadore s das ordens dominicana e franciscana foram muito importantes por serem responsáveis pelo estudo de diversos textos alquímicos, como o trabalho de Alberto Magno, o Grande, de Tomás de Aquino, de Arnaldo Villanova e de Roger Bacon (Alfonso-Goldfarb, 2005; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Conforme demonstra Alfonso-Goldfarb (2005), Bacon foi responsável, em suas obras, por sintetizar diversas ideias sobre as ciências da época: gramática, matemática, óptica, ciência experimental e moral. A ciência experimental, que Bacon considera superior às outras, trata-se de práticas alquímicas. No entanto, não foi possível fazer a separação dos elementos mágicos e da relação com o divino, uma vez que havia a dominância da escolástica - a qual era caracterizada pela teologia e pelo pensamento aristotélico.

Assim, Bacon nos conta, entre suas muitas estórias fantásticas, a dos “bons dragões voadores” de terras cristãs que, cavalgados pelo ar por sábios etíopes, têm sua carne amaciada. Com isto, depois de abatidos, se preparados com as devidas fórmulas, poderão transformar-se num atenuador dos problemas da idade (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 116).

Por esta razão, Alfonso-Goldfarb (2005) e Vargas (2017) afirmam que a alquimia europeia se caracteriza como uma vivência mágica, mas Brüseke (2004) aponta, na verdade, para uma vivência mística, “[...] que tem como seu cerne a união do eu com a totalidade divina [...]” (p. 201) e que, além disso, tem em seu cerne o sagrado, que é poderoso, espiritual e inexplicável.

Segundo Brüseke (2004), na religião estão presentes aspectos éticos, mas também o sagrado, o que tornou comum que muitos membros do clero fossem acusados de praticar magia, sendo difícil separar um do outro pela associação com a mística. Nesse sentido, as práticas alquímicas se tornaram suspeitas e foram combatidas, sendo até mesmo banidas.

No século XV, com o surgimento do Renascimento após um período de muita dificuldade para a Europa, que a Alquimia foi retomada, porém havia agora características diferentes. Neste momento, a escolástica já não detinha um local na sociedade e, devido ao contato com os textos clássicos e originais da Grécia, várias vertentes surgiam para definir como seria formulado o conhecimento a partir dali.

Alfonso-Goldfarb (1994) define que existiam aqueles, chamados antigos, que acreditavam que o conhecimento deveria ser proveniente somente dos clássicos,

com algumas modificações possíveis; todavia outros, os modernos, acreditavam que enfrentavam um novo mundo, o que a intensificação das navegações demonstrava, e precisavam também de um novo conhecimento para explicá-lo.

Este debate envolveu fortemente a ciência que estudava os fenômenos da matéria, de modo que a Alquimia tomou assento em uma outra área durante este período. Foi, principalmente, nas teorias medicinais que a Alquimia passou a se expressar até meados do século XVII, quando uma nova forma de pensamento começa a se estabelecer, substituindo a visão vitalista para observar o mundo como um mecanismo que poderia ser explicado de forma simplificada.

1.5 A visão mecanicista e a Química

No século XVII, a ideia de ciência começa a emergir em associação com aspectos de análise e experimentação quantitativa, características do mecanicismo, que define a visão de um mundo como uma máquina, a qual pode ser compreendida em todas as suas partes.

Tal cosmovisão é influenciada pelo pensamento de que o mundo poderia ser reduzido a matéria e movimento, o que está presente nas ideias de René Descartes sobre o universo quantificável e nas de Francis Bacon sobre a sistematização de experimentos sobre a natureza. Como afirma Alfonso-Goldfarb (2005):

O mundo do pensador moderno seria, cada vez mais, um mundo mecanicistamente reduzido à matéria e ao movimento, descrito por leis, rígidas e quantificáveis, onde o espírito qualitativo do alquimista iria perdendo espaço até não encontrar mais lugar (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 161).

Esse processo é lento, persistindo por muito tempo uma mistura de várias doutrinas rivais, principalmente a alquimia aristotélica, a alquimia paracelsiana e a química racionalista. Entende-se, portanto, que muitos aspectos alquímicos ainda estavam associados à química.

Robert Boyle, um membro da *Royal Society of London*, se destaca pelos seus muitos trabalhos e experimentos que buscavam integrar a química a esta nova forma de saber, levantando hipóteses e teorias, assim como fundamentando as explicações de seus experimentos, de forma lógica e quantificável. No entanto, suas ideias não são totalmente mecânicas, pois vivenciou um período complexo em que ainda não havia acontecido a dissociação completa entre química e alquimia, de

forma que novas teorias e experimentos eram utilizados para trazer novas perspectivas a propostas alquímicas.

Boyle acreditava que a transmutação não é algo mágico e oculto, pelo contrário, está clara e precisa nos mecanismos do mundo, podendo ser compreendidas e explicadas racionalmente; logo ele apresentou uma influência significativa para o início das rupturas com o pensamento vitalista. “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 se transformando” (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 168).

Em seu livro *The Sceptical Chymist*, por meio da teoria corpuscular da matéria, Boyle contribui para a eliminação das ideias de elementos e princípios, presentes nas teorias alquímicas aristotélicas e paracelsianas, respectivamente. Entende-se, em outra forma de pensamento, que a matéria é formada por corpúsculos, os quais movimentavam-se para se agregar em variadas formas e originam as substâncias - todavia, não deve-se confundir esta proposição com o conceito moderno de elemento, pois delineava-se no sentido de uma substância que não poderia ser dividida (Alfonso-Goldfarb, 2005).

Nesse sentido, a transmutação, em sua visão, seria um caminho viável por meio da agregação desses corpúsculos, quer fossem adicionados ou retirados para formar o que era desejado.

Segundo Alfonso-Goldfarb (2005), Boyle somente iniciou a ruptura com os fundamentos do vitalismo e a Química ainda teria um caminho a percorrer até se adequar ao mecanicismo e se estabelecer como uma ciência.

Um outro aspecto que influenciava no não alinhamento total da química com a visão mecanicista, era a valorização do fogo, proveniente do pensamento mais antigo e vitalista, impedia que a compreensão do processo de calcinação, por exemplo, considerasse a interação com o ar.

[Boyle] Percebe que o aumento de peso é maior em recipientes abertos do que nos fechados, nota também que, geralmente os recipientes lacrados acabam por partir-se, ou que ao serem abertos rapidamente o ar corre para o seu interior, denotando uma diminuição da pressão de ar interno. Todavia, atribui isto ao fato de tê-los aquecido levemente antes do início da experiência, a fim de poder selá-los (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 179).

O ar, portanto, continua sendo compreendido como algo inerte; mas as pesquisas de Boyle já contribuem para um maior estudo sobre o ar.

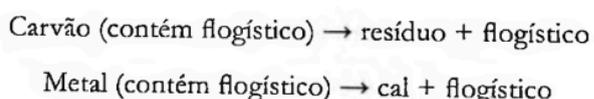
No processo de ruptura, a valorização do fogo possibilita um caso notavelmente registrado na história da Química, que se refere à teoria do flogístico, proposta inicialmente por Johann Becher e desenvolvida por Georg Stahl.

No século XVII, Becher propõe que os elementos importantes são a ar, água e três princípios terrosos: “terra vitrificável, que se refere à solidez pesada dos minerais, terra flogística, leve e inflamável, e terra mercurial ou metálica, que confere aos metais sua maleabilidade e seu brilho” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 79). Em outras palavras, havia a existência de uma terra inflamável, presente em todos os metais e que atuava como um combustível.

Já no século XVII, com base na ideia de seu predecessor, Stahl, um iatroquímico que acreditava nos princípios vitalistas, desenvolveu a teoria do flogístico. De acordo com Stahl, o flogístico era um elemento que estava presente em materiais inflamáveis, como os metais, e era liberada durante a reação de queima, sendo o fogo apenas um instrumento, um agente que atua na transformação.

O fogo colocaria em movimento o flogisto, demonstrando a característica um tanto mista, que trazia traços mecanicistas ao fazer explicações em termos de movimento, mas não abandonava os fundamentos vitalistas (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Essa teoria explicava a combustão dos materiais e a transformação do metal em cal e foi utilizada por aproximadamente um século pelos químicos.

Figura 3 - Processo de combustão de acordo com a teoria flogística.



Fonte: GREENBERG, 2009, p. 126.

No entanto, já estavam disponíveis diversos equipamentos, como a própria bomba de vácuo de Boyle, que possibilitaram estudos sobre o ar, inclusive o que era liberado em processos que envolviam aquecimento.

Joseph Black, segundo Bensaude-Vincent e Stengers (1996), não dirige suas pesquisas para o fogo, mas para quantidade de calor, algo mensurável. Conforme as

autoras, Black executou experiências sobre a calcinação, com as quais conseguiu observar a liberação do “ar fixo” da *magnesia alba* devido ao aquecimento.

Esta substância era a mesma liberada na fermentação e na respiração, além de não poder manter a combustão. O ar fixo, portanto, era diferente do ar comum, e atualmente entende-se que se tratava do gás carbônico. O resultado destas pesquisas influenciam no estudo do ar de forma mais aprofundada, influenciando também na compreensão do flogisto/flogístico.

Carl Scheele “especulou que, quando uma substância é queimada, perde flogístico, o qual se combinaria com o ar até certo ponto, aumentando sua massa e diminuindo seu volume” (Greenberg, 2009, p. 160). Scheele definiu, portanto, que o calor era uma combinação de flogístico com um componente do ar, que denominou de “ar ígneo” e que conseguiu obter, em torno de 1771, por meio do aquecimento de dióxido de manganês.

Scheele também realizou aquecimento de óxido de mercúrio, cujo resultado foi o isolamento do que conhecemos hoje por gás oxigênio. O cientista comunicou sua descoberta a Lavoisier, mas outras pesquisas surgiram sobre esse novo ar, inclusive a de Joseph Priestley e a do próprio Lavoisier por volta de 1774, o que não permitiu que Scheele fosse reconhecido, naquele momento, por este trabalho.

Priestley obteve o ar novo por meio do aquecimento de óxido de mercúrio, sendo que o denominou de “ar desflogisticado”. Como seguidor da Teoria do Flogisto, “a ideia era que uma vela queimando, por exemplo, perdia seu flogístico para alguma coisa “desflogisticada”, que avidamente o agarrava” (Greenberg, 2009, p. 164). O ar desflogisticado foi caracterizado como capaz de manter a combustão, ser respirável e solúvel em água.

Henri Cavendish, que em 1766 havia isolado o “ar inflamável” (conhecido como gás hidrogênio atualmente), realizou a queima dessa substância com o ar desflogisticado de Priestley, em 1781, identificando a formação de uma névoa. Cavendish até propõe que o ar desflogisticado seja renomeado para água desflogisticada (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Lavoisier já havia tido contato com as pesquisas de Scheele e de Priestley e realiza seus próprios estudos sobre a combustão e calcinação de materiais, por meio dos quais afirmou que o ar desflogisticado é a porção mais pura do ar comum e que água é composta de ar inflamável e ar puro. Lavoisier demonstra

compreender os fenômenos de uma forma diferente, já também influenciado pelo caráter mais quantitativo que adotava em suas pesquisas.

A dúvida que instigava Lavoisier e outros pesquisadores está associada à um problema que os acompanhava por muitos anos: a dificuldade de entender o ganho de massa de certos metais após a calcinação, uma vez que deveria acontecer a liberação do flogisto, logo, como consequência, a massa diminuiria (Greenberg, 2009).

Lavoisier realiza experiências com enxofre e fósforo, nas quais observa que o peso total se mantém, todavia há um aumento no peso do enxofre e do fósforo durante o processo. O cientista conclui, portanto, que acontece um aumento de peso em razão de uma quantidade de ar se fixa com os componentes da combustão. Existia, portanto, um componente do ar que se combinaria a substâncias inflamáveis e metais nos processos de combustão e calcinação.

Dessa forma, os resultados de Lavoisier se unem a outros que testemunham a ineficiência explicativa da Teoria do Flogístico. Várias outras teorias surgem para explicar o aumento de peso observado em certas reações de combustão, todas passando a considerar a importância do ar nesse processo.

Lavoisier já realizava pesquisas para uma teoria da existência de um estado aeriforme, ou estado gasoso, que tornaria questionável a ideia do ar como um princípio, influenciando na confiabilidade da teoria dos quatro elementos.

Para essa teoria do estado aeriforme, é muito importante o conceito de calórico, que seria uma substância do calor mais quantificável, semelhante às ideias discutidas por Black que defendiam algo mais mensurável.

Se o estado físico - sólido, líquido, gasoso de um corpo é explicado pela quantidade de calórico que ele contém, o ar perde sua função essencial de princípio. O calórico também fornece uma peça central na batalha contra o flogisto porque permite a Lavoisier explicar a produção de calor ou luz na combustão: a união com o oxigênio libera o calórico que estava unido a ele no estado aeriforme (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 115, tradução da autora).

Segundo Bensaude-Vincent e Stengers (1996), nesse momento há uma substituição na proposta de Lavoisier, em que o corpo combustível está no ar e não no material que queima. Apesar de ser perceptível um avanço de ideias em relação ao ar, o qual era considerado inerte, para romper com o pensamento vitalista era

necessário atingir toda a sua base, principalmente a ideia de elemento-princípio. Foi com suas pesquisas sobre a água que Lavoisier foi capaz de levantar questionamentos importantes sobre essa base, os quais conduziram ao rompimento com o animismo.

Cavendish já havia feito experiências sobre a água, todavia foram Antoine Laurent Lavoisier e Pierre Laplace que realizaram a síntese da água de forma quantitativa, além de evidenciar a sua composição.

Lavoisier e Laplace demonstraram que 85 partes de oxigênio reagem com 15 partes de hidrogênio para formar 100 partes de água. Em outra aparelhagem (não representada aqui), Lavoisier destilou água por meio de um tubo de vidro contendo carvão e que atravessava um forno. [...] O vapor exposto ao carvão formava dióxido de carbono e gás hidrogênio, que eram devidamente recolhidos e pesados. Assim, Lavoisier produziu água quantitativamente a partir de oxigênio e hidrogênio puros, e também quantitativamente a separou em seus elementos (Greenberg, 2009, p. 178).

Dessa forma, pode-se perceber características mais mecanicistas, em que é favorecido um sistema operativo e mensurável que permite a sistematização da natureza, em desfavor do pensamento vitalista. Isso traz autonomia para a Química, sendo reconhecida como apta para adquirir o título de ciência devido aos cuidadosos processos executados para estudo das reações.

Enfim, a rede fina que permeava todo o sistema de mundo [*alquímico*], desde sua ideia de justiça até sua forma de linguagem e de conhecimento, rompe-se de maneira lenta, mas irremediável, dando lugar a outro sistema formulado sobre novas bases (Alfonso-Goldfarb, 2005, p. 219).

Esse processo histórico demonstra o caráter dinâmico e contextualizado da ciência, que precisa ser compreendido para permitir que a atividade científica seja exercida de forma consciente pelos cientistas.

CAPÍTULO 2: ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, NATUREZA DA CIÊNCIA E ASPECTOS HISTÓRICOS

No capítulo 2, são explorados os aspectos da alfabetização científica e da natureza da ciência. Inicialmente, é importante mencionar que existem diferenças nas referências aqui trabalhadas. Em suma, Allchin (2011), direciona suas discussões contra o uso de listas consensuais com ideias sobre ciência, o que caracteriza bastante o trabalho desenvolvido por Cachapuz et al (2005). Ainda, pode se apontar o pouco uso conjunto de referências como Fourez e Allchin.

Todavia, podem ser observadas proximidades em todos estes referenciais que enfatizam a importância de entender o processo de construção do conhecimento científico e contextualizar tal processo em um quadro histórico para assim chegar a uma melhor compreensão sobre a ciência. Logo, se vê uma oportunidade de fazer essas pontes de diálogo e evidenciar potencialidades para o processo de ensino e aprendizagem, apontando discussões importantes sobre a natureza da ciência que contribuem para promover a alfabetização científica.

Além disso, neste capítulo, são também discutidas as características da narrativa histórico-investigativa, visto que a pesquisa trata da produção de uma – mas não de sua aplicação. Ambos os temas explorados no capítulo 1, os saberes alquímicos e a teoria do flogisto, serão uma base para a construção da narrativa histórico-investigativa.

2.1 Perspectivas sobre a alfabetização científica

O termo alfabetização científica, consoante ao que é discutido por Milaré e Richetti (2021), é marcado pela pesquisa *Science Literacy: its meaning for American Schools* por Paul DeHart Hurd, em 1958. Existem debates quando se trata do termo *Science Literacy*, que foi traduzido como alfabetização científica, mas também é difundido o uso de letramento científico e enculturação científica.

A escolha do termo cabe ao posicionamento do pesquisador e dos seus fundamentos teóricos. Nessa pesquisa será utilizado o termo alfabetização científica e tecnológica, uma vez que se orienta pelas ideias de Fourez (1997), para o qual a ciência e a tecnologia são ambas cruciais para o processo de empoderamento da população.

A alfabetização científica surge no mesmo contexto do movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), uma vez que se refere a um momento, por volta da

década de 50, em que são suscitados diversos questionamentos sobre como a ciência e tecnologia podem ter os mais variados impactos na sociedade e no meio ambiente. Sendo também uma reflexão acerca dos acontecimentos da Segunda Guerra Mundial, em que o conhecimento científico causou diversos impactos na humanidade e também sobre o uso da ciência e tecnologia durante a Guerra Fria.

No entanto, a distinção entre ambas se estabelece devido à suas próprias essências, seus objetivos para uma sociedade mais crítica e reflexiva. Enquanto o movimento CTS almeja primordialmente um debate sobre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade, o que pode deixar os conhecimentos científicos longe do foco; a alfabetização científica aspira viabilizar uma cultura científica e tecnológica (Milaré; Richetti, 2021).

Nesse sentido, o que se busca é colocar os aspectos da ciência e da tecnologia em foco de investigação, aproximando da população para permitir que questionem a aparente neutralidade de diversos empreendimentos científicos e tecnológicos que causaram impactos negativos em âmbitos sociais, ambientais, econômicos e outros.

Para Fourez (1997), também é necessário incluir a tecnologia devido aos aspectos do próprio sistema do mundo. Segundo o autor, a importância da alfabetização científica e tecnológica (ACT) está associada a um misto de três preocupações: a) humanista, que busca empoderar o indivíduo pela compreensão do mundo científico, b) o crescimento econômico, e c) sociedade democrática, que pode utilizar o conhecimento científico para atuar em decisões, sem deixá-las somente nas mãos de tecnocratas.

A tecnocracia é definida como “sistemas políticos em que se recorrem, para as decisões sociopolíticas, a especialistas (*experts*) cientistas” (Fourez, 1995, p. 211). Logo, a tecnocracia considera o conhecimento científico para qualquer decisão, de forma que os cientistas, por o terem, apresentam uma vantagem nesse sistema em comparação com aqueles que não o possuem, em que geralmente se inclui o próprio cidadão, o qual fica limitado para exercer sua cidadania.

Pode-se ainda adicionar a preocupação em como um cidadão pode entender os fatores que contribuem para a credibilidade da ciência, em razão de não ser comum terem acesso a discussões sobre o funcionamento da ciência, ou, em suma, sobre a natureza da ciência (Allchin, 2010). Isso também é um fator que impacta na sua análise de casos que envolvem a ciência.

A fim de empoderar a população para negociar em uma sociedade tecnocientífica, a alfabetização científica e tecnológica, para Fourez (1997), assume três objetivos: autonomia individual; comunicação com os outros; e gestão de situações. Sendo assim, é perceptível a importância de que os indivíduos estejam familiarizados com o conhecimento científico, tornando-se cientificamente alfabetizados quando

[...] seu conhecimento lhes dá certa autonomia (a possibilidade de negociar decisões sem dependência indevida em relação a outros, ao mesmo tempo em que confrontadas com pressões naturais ou sociais); uma certa capacidade de comunicação (encontrar formas de transmitir a mensagem); e algumas maneiras práticas de lidar com situações específicas e negociar os resultados (Fourez, 1997, p. 906).

Segundo Sasseron e Carvalho (2016), a alfabetização científica se estrutura em três eixos: a compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos; a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que são inerentes à sua atividade; e o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente. Nesse pensamento, podem-se identificar os princípios que constituem a alfabetização científica, a qual envolve a perspectiva da formação cidadã com base nos eixos citados, de forma que permitem tomadas de decisões mais conscientes.

Sob esta influência, acontece um movimento de reorientação do Ensino de Ciências da Natureza, a fim de trazer aspectos da realidade para potencializar uma reflexão sobre as características da ciência, se afastando da ideia de neutralidade e outras concepções errôneas antes prevalentes no contexto educacional em relação ao conhecimento científico (Milaré; Richetti, 2021).

Cabe aqui o questionamento pontuado por Fourez (1997): o nosso ensino foca no empoderamento dos estudantes ou no que a comunidade científica considera importante em sua perspectiva? Nosso ensino tem o objetivo de ajudar as pessoas a entender melhor seu mundo ou de fazê-las ver o mundo da mesma forma que os cientistas?

De forma concisa, reconhecer e entender o processo de construção de conhecimento da ciência em suas diferentes dimensões são competências essenciais para a formação de um cidadão crítico e atuante. É a partir da compreensão do como a ciência chega às suas conclusões – as quais trazem transformações socioeconômicas, que têm impactos ambientais e etc – que o

indivíduo pode refletir sobre a credibilidade daquilo, analisar o caso que lhe é apresentado e tomar uma decisão consciente e bem-informada. Nisto, reside a essencialidade de discutir a natureza da ciência no processo de ensino e aprendizagem.

2.2 Perspectivas sobre natureza da ciência

Em essência, a alfabetização científica e as discussões sobre natureza da ciência têm grande proximidade; como Sasseron e Carvalho (2016) apontam, a segunda é um eixo de extrema importância da primeira.

A alfabetização científica não se refere somente a compreender conceitos científicos. Na verdade, conforme demonstram Fourez (1997) e Cachapuz e colaboradores (2005), é também sobre trazer à tona as escolhas que fazem parte do processo científico, incitar as reflexões sobre a origem do conhecimento, dos projetos e questões que estão na base dos conceitos científicos. Em outras palavras, a alfabetização científica envolve uma visão holística da ciência, o que Douglas Allchin entende como a compreensão do todo da prática científica, compreensão da natureza da ciência.

Allchin (2011) defende que a natureza da ciência é essencial na para que um cidadão seja capaz de fazer uma análise bem informada de casos em seu contexto, tendo por base um entendimento de como funciona a atividade científica. De forma prática, saber como os conhecimentos científicos são produzidos e, principalmente, como alcançam e estabelecem sua credibilidade é um fator crucial para que um indivíduo seja capaz de fazer uma reflexão crítica das informações que possui sobre aquecimento global, produção de medicamentos e outros tópicos a fim de tomar decisões conscientes.

[...] em muitos casos, a compreensão da natureza da ciência (NdC) também é essencial, se não central: em quem podemos confiar nos conhecimentos especializados, especialmente quando os especialistas parecem discordar? Que formas de comunicação das descobertas científicas ao público são creíveis? Como é que os cientistas gerem os dados? Como eles se comunicam? Que tipo de condições justificam uma mudança no consenso científico? Onde termina a informação verificável e começa o julgamento de valor? (Allchin, 2011, p. 519, tradução da autora).

No mundo da tecnocracia, como afirmado por Fourez (1995), a capacidade de realizar essa análise bem informada com base em conhecimentos sobre a ciência e

tecnologia é um fator determinante para uma participação mais ativa de cidadãos, é um fator determinante para a alfabetização científica.

Allchin (2011) indica que o estudo da natureza da ciência pode ser feito com base em dimensões que caracterizam o funcionamento da ciência e “como a credibilidade é alcançada à medida que o conhecimento se desenvolve e como é preservado à medida que se move de um lugar para outro” (Allchin, 2011, p. 524, tradução da autora). As dimensões apresentam os aspectos contraditórios presentes na ciência, como a importância das teorias e estudos que se estabelecem como fundamentos para a compreensão do mundo, mas também da criatividade. Com isso, busca-se trabalhar de forma mais ampla a essência complexa da atividade científica.

As dimensões apontadas por Allchin (2017a) são identificadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Dimensões de credibilidade da ciência, segundo Allchin (2017).

Dimensão	Tópicos presentes na dimensão
Observações e medidas	Qualidade e precisão de evidências; papel dos estudos sistemáticos; coerência entre diferentes tipos de informações; entre outros.
Experimentos	Experimento controlado; replicação de experimentos; análise estatística de erros; entre outros.
Dimensão histórica	Coerência com evidências, teorias e conhecimentos estabelecidos; mudança conceitual; erro e incerteza; papel da imaginação e criatividade; entre outros.
Dimensão humana	As motivações para o fazer ciência (pessoais, políticas, militares, etc); as personalidades humanas e impactos na ciência; entre outros.
Dimensão sociocultural	Papel das crenças culturais (ideologia, religião, etc); papel dos preconceitos (racial, de classe, de gênero); entre outros.
Interações entre cientistas	Colaborações e competições; credibilidade; liberdade acadêmica; persuasão; entre outros.
Padrões de raciocínio	Relevância de evidências; explicações alternativas; verificação das informações, entre outros.
Economia e/ou financiamento	Fontes de investimento; conflito de interesses; entre outros.
Instrumentação	Novos instrumentos e sua validação; ética

	envolvida na experimentação; entre outros.
Comunicação do conhecimento	Credibilidade de revistas e outras mídias; responsabilidade social dos cientistas; fraudes e má-conduta; normas quanto ao tratamento de dados científicos; entre outros.

Fonte: Adaptado de Allchin, 2017, p. 21.

Segundo Allchin (2011), a instrução educacional sobre a natureza da ciência tem por objetivo justamente proporcionar uma alfabetização científica funcional ao envolver estudantes em resolução de problemas por meio de casos de estudo contextualizados que exigem a tomada de decisões, sendo isto o cerne da abordagem investigativa.

Esta abordagem, no processo de ensino e aprendizagem, envolve ativamente os estudantes em diferentes etapas para a busca da resolução de um problema, o que pode ser comparado ao processo da atividade científica, do fazer ciência. Por meio disso, é possível potencializar reflexões sobre a forma como o conhecimento científico alcança credibilidade, como se estabelece, pode proporcionar questões e problematização em torno da natureza da ciência, o que é, como apontado, essencial para a alfabetização científica.

Mas a aprendizagem das ciências pode e deve ser também uma aventura potenciadora do espírito crítico no sentido mais profundo: a aventura que supõe enfrentar problemas abertos, participar na tentativa de construção soluções... a aventura, em definitivo, de fazer ciência (Cachapuz et al., 2005, p. 30)

A abordagem investigativa pode ser feita usando casos contemporâneos, presentes em um contexto atual, no entanto, uma investigação histórica tem grande potencialidade. Conforme Allchin (2011) enfatiza, um problema atual não permite reconhecer o caminho para a credibilidade na atividade científica, tendo em vista que são casos não resolvidos, diferente de casos históricos. Ainda que um caso do passado já tenha sido solucionado, já tenha seus impactos e credibilidade reconhecidas, Allchin (2017a) demonstra o motivo pelo qual tais problemas são significativos em um processo de ensino e aprendizagem que almeja as discussões sobre a natureza da ciência, que almeja a alfabetização científica.

No entanto, os casos históricos estão encerrados. Como podem promover a aprendizagem de estilo de investigação aberta? Aqui, deve-se atentar para

a transformação da ciência do passado em ciência em formação, mais uma vez [...]. É preciso reviver a perspectiva histórica e reconstruir os problemas de NdC, outrora não resolvidos, para os alunos de hoje. Os professores simulam a história num contexto de investigação aberta. Ironicamente, talvez, sejam os casos do passado – com a sua resolução a longo prazo – que permitem aos alunos apreciar e compreender algumas das principais dimensões da NdC hoje – tais como o papel dos erros e da mudança conceptual e como os preconceitos culturais podem moldar as afirmações científicas (Allchin, 2017a, p. 24, tradução da autora).

Milaré e Richetti (2021) indicam que os autores Hurd (1958) e Shen (1975) afirmavam a importância de que a ciência fosse compreendida como uma produção intelectual, parte da cultura humana. Para isso, como também afirmam Fourez (1997) e Allchin (2017a, 2017b, 2011), é necessário que a historicidade dessa produção seja evidenciada, permitindo reconhecer as diferentes particularidades da atividade científica, o seu processo para ter credibilidade e se estabelecer como uma parte essencial da sociedade, com a qual mantém uma relação recíproca de influência. Em suma, há a indispensabilidade da perspectiva histórica da construção da ciência.

2.3 A importância de um quadro histórico

Retomar a alfabetização científica e tecnológica implica reconhecer que o conhecimento científico se estabeleceu por meio dos processos históricos, os quais envolvem a comunidade científica e diversos âmbitos da sociedade. Requer, além disso, reconhecer que esses processos poderiam ter sido diferentes, modificando a estrutura da ciência e da tecnologia, sua presença no mundo. Em suma, demanda integrar a ciência a um processo social.

A ACT está, portanto, naturalmente inclinada a dar à história o devido lugar no processo de ensino de ciência e tecnologia. Vistos nessa perspectiva, os resultados científicos não são vistos como visando alguma verdade absoluta, mas como modelos construídos por e para os seres humanos, com o objetivo de lidar com a realidade em que estão envolvidos (Fourez, 1997, p. 919).

No entanto, observa-se que essa perspectiva histórica está, geralmente, oculta no processo de ensino e aprendizagem nas universidades. Esse processo muitas vezes consiste em uma transmissão rápida de conhecimento tanto na educação básica quanto na universidade (Cachapuz et al., 2005). Não é considerado o espaço para refletir sobre esses conhecimentos, como se desenvolveram e se estabeleceram, os questionamentos que instigaram a sua

formação, os trabalhos de cientistas que contribuíram para sua formulação, o que se apresenta ao estudante é um conhecimento pronto e acabado.

O processo de ensino e aprendizagem da forma descrita favorece uma visão inadequada, em que o conhecimento científico é uma verdade irrefutável, descontextualizada e imutável. Cachapuz et al. (2005) já relataram que isso é um dos aspectos de uma visão inadequada da ciência que é "[...] o resultado da ausência, quase absoluta, de reflexão epistemológica e de aceitação acrítica de um ensino por simples transmissão de conhecimentos [...]" (Cachapuz et al., 2005, p. 63).

Para mudar esse quadro, é essencial discutir o processo da construção da ciência, envolvendo seus aspectos históricos, sociais, ambientais, econômicos, políticos e éticos. Nesse sentido, a história da ciência é pensada como um caminho favorável para promover a alfabetização científica na perspectiva de Fourez (1997).

Muito constantemente, na tentativa de remontar um percurso histórico, ensina-se algo pouco real, que segue um curso linear e cumulativo, apresentando nomes de estudiosos que elaboraram, em épocas antigas, ideias e teorias que evoluíram até dar a forma do pensamento atual sobre o mundo. Alfonso-Goldfarb (1994) retoma a denominação História-pedigree para essa história da ciência destituída da historicidade de cada época, que em nada contribui para uma formação no sentido da alfabetização científica e tecnológica.

Uma formação que envolve as questões históricas está na essência da alfabetização científica, a fim de promover uma compreensão da construção da ciência, do por que e como teorias são aceitas, da multidisciplinaridade presente no real; promover também o reconhecimento de que a ciência e a tecnologia se desenvolveram de forma próxima na história. A formação com as características citadas contribui para uma visão de mundo diferente, significa:

que as pessoas se conscientizarão do fato de que teorias e modelos científicos nunca serão completamente compreendidos se não compreendermos as razões pelas quais foram inventados, com quais objetivos, e no interesse de quem, e como eles podem ser usados para negociar conceituações adequadas para situações específicas (Fourez, 1997, p. 928).

Ao refazer um caso histórico, mas envolvendo o estudante ativamente, como um protagonista do caso, é permitido que ele se debruce na busca de soluções para o mesmo problema que os cientistas encontraram no passado, utilizando também

das mesmas evidências para formular suas hipóteses, argumentações e decisões. Mais profundo ainda, é possível adentrar no contexto sócio-histórico e reconhecer os diferentes âmbitos que se entrelaçam com a ciência, trazendo à tona os aspectos constituintes dessa construção humana.

Além disso, a história parece essencial para transmitir lições sobre NdC que se baseiam em perspectivas retrospectivas ou mais amplas. Estes incluem, mais notavelmente: as formas como os cientistas podem errar, a natureza da profunda mudança conceitual e da incerteza, e o papel do contexto cultural e do potencial preconceito nas ideias científicas (Allchin, 2011, p. 534, tradução da autora).

Ainda, Allchin, Andersen e Nielsen (2014) e Allchin (2020) evidenciam que o contexto histórico possibilita compreender mudanças conceituais; o processo da atividade científica e o seu produto, permitindo também comparações com o contexto contemporâneo uma vez que o caso histórico tem um resultado conhecido; e dá a oportunidade de o estudante ter a experiência do erro – inerente ao processo científico – sem evocar sentimentos profundos de fracasso em um estudante.

Os erros podem ser experimentados em primeira mão, mas podem ser facilmente atribuídos retrospectivamente ao contexto e analisados com uma distância mais crítica. Ironicamente, então, a história pode acomodar alguns dos défices da instrução NdC baseada na investigação dos alunos (Allchin; Andersen; Nielsen, 2014, p. 475, tradução da autora).

É nesse sentido que a história da ciência vem colaborar na alfabetização científica, trazendo um percurso histórico que apresenta a complexidade, o dinamismo, os debates e características sociais que fomentaram o desenvolvimento da ciência como é conhecida. Logo, o resgate desses caminhos da história é enfatizado como crucial no processo de ensino e aprendizagem.

Allchin (2020) afirma que a investigação de um caso histórico para envolver os estudantes e fazê-los refletir não pode consistir somente em uma narrativa, devendo também conter questionamentos que incitem o pensamento crítico e levem ao fazer ciência, cercado da incerteza de não saber a resposta e com a liberdade de errar. A narrativa histórico-investigativa, portanto, torna-se uma abordagem preferível para o processo de ensino e aprendizagem, sendo amplamente explorada e detalhada por Allchin (2017b).

2.4 Narrativa histórico-investigativa

Pode-se entender, como enfatizado por Cachapuz et al. (2005), que as visões inadequadas são consequências de um - extremamente criticado - ensino por transmissão de conteúdos sem uma discussão real sobre o conhecimento explorado e todo seu processo. A pouca participação dos estudantes, além de impactar no interesse dos mesmos pelas ciências, impossibilita o desenvolvimento de competências necessárias para interpretação do mundo a partir da ciência, para aflorar a capacidade de fazer decisões críticas fundamentadas em seus conhecimentos e na pouca ou nenhuma compreensão dos conceitos que se objetiva ensinar.

A abordagem investigativa é uma das metodologias ativas mais utilizadas, que preza justamente pelo desenvolvimento ativo do estudo. Ela pode ser resumida em algumas etapas, segundo Carvalho (2013): problematização, levantamento de hipóteses, teste de hipóteses, sistematização de ideias e avaliação.

O problema pode ser teórico ou experimental, desde que seja contextualizado e dê condições para os estudantes manifestarem seus conhecimentos prévios. A partir desses conhecimentos, são elaboradas e testadas hipóteses, com auxílio do mediador; nesse momento ocorre a construção de um novo conhecimento. Uma vez resolvido o problema, é preciso que o conhecimento seja sistematizado, pois a socialização ajuda a explicar o fenômeno e a avaliação ocorre durante toda a atividade, no entanto é importante que ao final desse processo eles tenham a chance de sintetizar o que foi aprendido.

A inclusão de conteúdos de História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) no Ensino de Ciências pôde contribuir para evitar visões distorcidas sobre os processos e fatores envolvidos na construção do conhecimento científico, de seu método e de suas relações com os seus condicionantes sociais, além de proporcionar uma melhor aprendizagem dos conteúdos científicos (Batista; Silva, 2018, P. 100).

Quando alinha-se a abordagem investigativa com a HFSC, têm-se a abordagem histórico-investigativa, Com esta abordagem é proporcionado um espaço para compreender o processo da atividade científica a partir de argumentos e refutações, e seus aspectos históricos, em outras palavras os “objetivos ultrapassam o ensino de conceitos, leis e teorias e em que se pretende alcançar o

entendimento da construção do próprio conhecimento científico” (Carvalho, 2018, p. 770).

A investigação é um método para abordar a natureza da ciência, sendo que ao combinar com a história é entendido que a investigação tem trajetória em um contexto histórico. Dessa forma, acredita-se que o estudante pode se deparar com os problemas que envolveram os cientistas e entender a construção do conhecimento científico.

Para propiciar essa compreensão, conforme Allchin (2017b), em uma narrativa histórico-investigativa (NHI), o caso histórico deve permanecer em segundo plano, fornecendo um contexto sem desviar o foco da investigação.

Na investigação histórica, a história funciona principalmente para apoiar sucessivas atividades de investigação. A narrativa é alternadamente preâmbulo e epílogo, cuidadosamente elaborada para estimular o pensamento dos alunos e, em seguida, informar reflexões adicionais (Allchin, 2017b, p. 112, tradução da autora).

Nesse sentido, Allchin (2017b) descreve que a narrativa histórico-investigativa segue um personagem, que está envolto no contexto sócio-histórico em que dado momento da construção da ciência se deu, e que no decorrer da narrativa são feitas paradas para interpretar e discutir questões – denominadas questões para pensar.

Esse recurso se dirige ao professor, de modo que a NHI não é entregue aos alunos, mas é conduzida pelo docente da forma que lhe parece mais adequado para que o processo de ensino e aprendizagem que acontece em seu contexto se aproxime do fazer ciência, como almejado por Allchin (2017).

Por meio das questões, é possível envolver o estudante um processo de investigação, experienciando o problema histórico que esteve no centro do desenvolvimento de conceitos científicos, utilizando seu próprio raciocínio para buscar soluções para esses problemas com os mesmos dados que estavam à disposição da comunidade científica naquele contexto. Além da compreensão de aspectos da natureza da ciência, é fomentado o aprendizado de conceitos científicos, “o objetivo aqui é ajudar os alunos a compreender a dimensão epistêmica da ciência: como a ciência funciona (ou como por vezes não funciona!)” (Allchin, 2017b, p. 105, tradução da autora).

Nesse processo, os estudantes podem chegar a diversos resultados, sendo essencial que o professor não adiante respostas ao atuar como narrador e mediador,

além disso não se deve tratar o caso como se houvesse uma resposta correta, visto que se busca a experiência de fazer ciência.

Todavia, como colocado em etapas por Carvalho (2013), pode-se pensar que já se passou o processo de problematização, levantamento e teste de hipóteses, e existe o momento da sistematização de todo o processo da NHI. Neste, o professor atua utilizando de uma comparação entre o caminho trilhado pelos estudantes e aquele trilhado pela personagem do caso histórico. Por meio dessa comparação, são respondidas críticas e pode-se evidenciar todos os fatores e decisões que corroboraram para o resultado que é conhecido.

Os alunos podem ver a variedade de caminhos possíveis a seguir. Eles podem notar a diferença entre a história real e uma versão talvez idealizada dela. Os papéis da política, das perspectivas pessoais, dos valores culturais ou de outros elementos contextuais que moldam a ciência tornam-se mais claros (Allchin, 2017b, p. 116, tradução da autora).

Ainda, é importante que se chegue ao momento final da avaliação em que o estudante possa completar a investigação histórica sozinho, refletindo sobre todo o processo da narrativa e expondo suas conclusões finais por meio de texto, desenho ou outro recurso.

O uso de casos históricos já é presente na literatura, todavia muitos se voltam a uma narrativa sem interrupções (Borges et al., 2020; Vasconcelos; Forato, 2018) ou ao ato de remontar e/ou discutir experimentos e processos feitos por cientistas (Azevedo; Del Corso; Trivelato, 2017). Nesses trabalhos, o texto é lido pelos alunos, acompanhados ou não pelo professor, e posteriormente é realizada a socialização. Por exemplo, Borges et al. (2020), apresentam a narrativa “Eratóstenes em: um experimento que ‘mediu’ o mundo”, em que a leitura é feita por alunos e, posteriormente, é feita a socialização ao recriar o processo da medida em lousa, também resolvendo problemas matemáticos.

Os trabalhos de Azevedo e Del Corso (2017), de Ricci, Teixeira e Oliveira (2017) e de Gomes e Silva (2017) são pensados na metodologia proposta por Allchin (2017), utilizando temáticas da Biologia. Como exemplo e referência, destaca-se o produto desenvolvido por Azevedo e Del Corso (2017) acerca da doença de chagas, chamada de “A doença dos trabalhadores da estrada de ferro”. A narrativa histórico-investigativa é desenvolvida com o texto, que acompanha o caminho percorrido por Carlos Chagas na construção de conhecimento sobre a

doença, com imagens e com 13 questões para pensar, as quais envolvem os alunos na investigação. A narrativa explora alguns aspectos importantes sobre a ciência como o papel de fatores econômicos e políticos no trabalho de cientistas e a importância de conhecer dados e teorias científicas para desenvolver sua pesquisa. Esses aspectos são enfatizados, com mediação do professor, ao fim da leitura.

Nesta pesquisa, é detalhada a construção de uma narrativa histórico-investigativa, tendo por foco o caso histórico da ruptura com a teoria do flogisto, um acontecimento crucial no estabelecimento da Química Moderna.

2.5 Panorama da literatura

Para compreender o panorama dos esforços da comunidade científica voltados para o mesmo tema abordado nessa pesquisa, foi realizada uma busca utilizando os seguintes descritores: “alfabetização científica” e “história da química”; “alfabetização científica” e “história da ciência”.

Devido ao pequeno número de materiais encontrados, foi decidido utilizar também os descritores “natureza da ciência” e “história da ciência”, considerando que a alfabetização científica tem como um de seus eixos estruturantes, conforme Sasseron e Carvalho (2016), a compreensão de aspectos da natureza da ciência.

Os critérios de inclusão e exclusão são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios de inclusão e exclusão da revisão da literatura.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Trabalhos publicados no período de 2018 a 2023, exceto quando identificados trabalhos de importância para o tema, anteriores ao período determinado.	Trabalhos que não apresentem em seu resumo e/ou desenvolvimento o que está proposto no título.
Trabalhos que abordam o uso da História da Química ou da Ciência para promover a alfabetização científica.	Trabalhos que não se configuram como artigos, por exemplo, teses, dissertações, pôsteres, editoriais, publicações em eventos, entre outros.

Fonte: Elaboração própria.

Por meio da análise dos 16 materiais selecionados, foram percebidas as algumas tendências de pesquisa, as quais serão discutidas a seguir.

O artigo de Gomes e Proença (2019) é o único que envolve diretamente a análise de **material didático** disponibilizado para alunos. Os autores analisaram quatro livros didáticos de Química do Programa Nacional de livros didáticos do Ensino Médio – PNLDEM de 2018 para o Ensino Médio a fim de reconhecer aspectos da história da ciência, comumente inseridos no primeiro capítulo dos

materiais. Gomes e Proença (2019) observaram pouca contextualização histórica, que não contribui para reconhecer o processo de construção do conhecimento científico de forma abrangente.

Três trabalhos (Prado; Carneiro, 2018; Moura, 2021; Marko; Pataca, 2019) consistem em trabalhos mais teóricos, com **reflexões e discussões** sobre as contribuições de abordar a história da ciência para uma melhor compreensão sobre esse empreendimento.

Prado e Carneiro (2018) trazem reflexões sobre como um episódio histórico contextualizado pode ter contribuições para compreender aspectos da natureza da ciência. Os autores utilizam o caso sobre a proposição das teorias do flogisto e calórico com o objetivo de repensar o papel e a importância atribuídos a Lavoisier, dando preferência para a construção coletiva da comunidade científica.

Moura (2021) aponta a importância da presença de discussões sobre história da Ciência no processo de ensino e aprendizagem, sendo apontadas contribuições para compreender as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente; compreender a construção do conhecimento científico como um processo; compreender perspectivas distintas durante a história que contribuíram para a ciência, mas ficam invisíveis em abordagens comuns; entre outros.

Marko e Pataca (2019) apresentam reflexões sobre as contribuições da presença de discussões historiográficas na formação de professores, tendo por base a pesquisa que conduziram com estudantes de Pedagogia e licenciandos em Física ou Astronomia. Os participantes integraram um grupo de debates após a leitura de textos da área de História e Sociologia das Ciências – como o trabalho de Thomas Kuhn. Os resultados indicam uma contribuição relevante para a busca de abordagens que abrangem diferentes aspectos da ciência, diferente da estratégia conteudista que se volta somente para a aprendizagem de conceitos.

A maioria dos trabalhos, um total de 10, tem por objetivo discutir **estratégias** para abordar aspectos históricos em sala de aula, seja com alunos da Educação Básica ou Ensino Superior.

Almeida, Cansan e Oliveira (2022) demonstram que os alunos conseguiram compreender a importância da história da Ciência e da alfabetização científica na formação de professores ao realizar ações pedagógicas com 24 alunos da disciplina História da Ciência do Curso de Licenciatura em Química do IF Sertão-PE;

Admiral, Machado e Caldas (2019) discutiram aspectos da filosofia, história e natureza da ciência com alunos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), os quais elaboraram, posteriormente, sequências didáticas, nelas foram percebidas a preocupação em trazer casos históricos, mas que não conseguiam trazer os vários eixos da alfabetização científica, focando na aprendizagem de conceitos.

Almeida e Justi (2019) trabalharam o episódio histórico das descobertas de Marie Curie com nove licenciandos de Química a fim de promover discussões sobre a natureza da ciência. O caso histórico utilizou cenas do filme “Madame Curie”, de 1943, e do texto “Um sobrevoo no caso Marie Curie: um experimento de antropologia, gênero e ciência” de Pugliesi (2007). As discussões provenientes do caso histórico permitiram reconhecer ingenuidades como a ideia de um cientista que trabalha isolado e faz descobertas geniais ao acaso.

Santos (2018) também utiliza o caso histórico de Marie Curie para permitir essas reflexões e promover a alfabetização científica, porém a abordagem é o júri simulado aplicado com alunos do 1º ano do Ensino Médio.

Rosa e Souza (2021) apresentam o uso de simulação computacional para assistir a discussão de um caso histórico a fim de promover o reconhecimento do processo divergente que é a construção do conhecimento. O estudo foi realizado com professores de Física em formação e aborda o debate científico em torno da teoria quântica e o calor específico de sólidos.

Santos, Lima e Silva (2022) abordam o contexto histórico do desenvolvimento dos modelos atômicos, com alunos do 1º ano do Ensino Médio, por meio da estratégia *storytelling*, que consiste basicamente em uma narrativa. Os alunos foram divididos em grupos para realizarem pesquisas e construir a narrativa, sendo acompanhados por meio do *Whatsapp* e *Google Meet* pelos pesquisadores. A estratégia permitiu ricas discussões sobre o dinamismo da ciência, e sua contínua transformação por meio das pesquisas da comunidade científica que levam à reformulação de ideias.

Ferrari, Pinheiro e Faria (2021) apresentam um panorama sobre o uso de jogos educativos alinhados a uma abordagem histórica da ciência. Foram analisados 18 trabalhos publicados entre 2009 e 2020, os quais permitiram reconhecer a confecção de jogos pelos pesquisadores, sejam inspirados por jogos existentes – principalmente de tabuleiro ou de cartas – ou como uma contribuição inédita. Sete

deles eram jogos voltados para promover a compreensão da natureza da ciência por meio de aspectos da história do conhecimento científico.

Andrade e Silva (2018) elaboraram uma sequência didática, para o 1º ano do Ensino Médio, abordando aspectos da história da ciência relacionados ao processo de destilação, envolvendo sua origem, características, conceito e outros. Isso permitiu, segundo os autores, que os alunos reconhecessem o aspecto sócio-histórico inerente à construção do conhecimento.

Corrêa e Malaquias (2022) realizaram uma pesquisa, com alunos do 9º ano do Ensino Fundamental e do 1º ano do Ensino Médio, em que foi feita uma leitura e socialização de um texto histórico – um artigo – sobre a invenção do fonógrafo. Esse material foi a base para a construção de história em quadrinhos pelos alunos acerca do episódio histórico. Os autores afirmam que a estratégia permitiu uma melhor compreensão sobre as problemáticas que levam a elaboração de explicação para fenômenos.

Gandra e Silva (2018) propuseram o uso de modelagem para enfatizar aspectos históricos da produção de conhecimento acerca dos modelos atômicos. As representações feitas por alunos do 9º ano do Ensino Fundamental permitiram não apenas reconhecer as características de cada modelo atômico, como também possibilitou reconhecer as dinâmicas que levam a elaboração de novas teorias, associando cada modelo proposto com um contexto histórico distinto.

Por fim, se destacam dois trabalhos de **revisão da literatura** que envolvem a temática da história da ciência, são eles os artigos de Rodrigues, Júnior e Oliveira (2020) e de Guimarães e Castro (2021).

Rodrigues, Júnior e Oliveira (2020) realizaram uma revisão da literatura acerca da história da ciência na educação científica, contando com a análise de 47 artigos publicados no período de 2010 a 2020. Os resultados indicam a existência de nove trabalhos voltados para auxiliar na escolha de materiais para abordar aspectos da história da ciência, nisto encontram-se discussões sobre os livros didáticos, textos de cunho histórico, recursos como animações, teatro científico e outros, a proposta de formação de professores para habilitação dessa escolha. Um pouco mais de 20 artigos contemplam análise de currículos e de aulas de professores em

relação a abordagem sobre história da ciência. Cerca de 15 artigos buscam fazer orientações sobre como abordar os aspectos da história da ciência.

Guimarães e Castro (2021) realizaram uma revisão sobre as estratégias utilizadas para abordar a história da ciência por meio da análise de 38 artigos publicados entre 2009 e 2019. Os autores observaram que a maior estratégia utilizada são os estudos de casos históricos envolvendo diversas temáticas – como auxiliada por recursos tecnológicos, por experimentação, por jogos, por imagens de cientistas. As estratégias que se voltam para aspectos da história da ciência, como afirmam os autores, são essenciais para professores a fim de potencializar a aplicação em sala de aula e possibilitar a compreensão da natureza da ciência.

No geral, pode-se identificar que existem poucas pesquisas que consideram a discussão de aspectos históricos da ciência para promover a alfabetização científica, sendo esta uma razão para a necessidade de ampliar o horizonte de revisão da literatura da forma como mencionado inicialmente.

Todavia, isto não significa que a história da ciência já não esteja sendo estudada como um meio para fomentar a compreensão da natureza da ciência, a qual é um aspecto essencial da alfabetização científica.

Observa-se uma predominância na literatura pela busca de estratégias para permitir a abordagem dos aspectos históricos, sendo a principal delas o estudo de casos históricos de formas variadas, podendo ou não utilizar de recursos tecnológicos para alcançar este objetivo. Considerando as contribuições destacadas em todos os materiais, é importante prosseguir com pesquisas que ampliem esse panorama, atendendo as mais diversas possibilidades de ensino. Logo, isto justifica a escolha de trabalhar com narrativa histórico-investigativa nesta pesquisa.

CAPÍTULO 3: OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA

Por meio dos trabalhos da pesquisadora durante o curso de graduação, ocorreu o contato com temas como a natureza da ciência, a atividade científica, a história, filosofia e sociologia da ciência, além do contato com alunos da Educação Básica e Ensino Superior.

Esse contato permitiu identificar lacunas no processo de ensino e aprendizagem quanto a compreensão de aspectos da ciência, corroborando para os resultados presentes na literatura – observado acima. Com base nisso, a história da ciência e a alfabetização científica emergiram como possíveis caminhos para suscitar discussões mais adequadas, buscando-se sua abordagem por meio de uma narrativa histórico-investigativa.

A partir da questão “Como promover a alfabetização científica a partir de uma narrativa histórico-investigativa utilizando um tema da História da Química?”, foram definidos os seguintes objetivos:

Geral

Evidenciar as potencialidades de uma narrativa histórico-investigativa abordando a ruptura com a teoria do flogisto para promover a alfabetização científica.

Específicos

- Propor uma narrativa histórico-investigativa abordando a ruptura com a teoria do flogisto.
- Identificar os aspectos da natureza da ciência explorados na narrativa histórico-investigativa.
- Apontar discussões sobre os aspectos da natureza da ciência suscitadas pela narrativa histórico-investigativa e suas contribuições para promover a alfabetização científica.

CAPÍTULO 4: CONSTRUÇÃO DA NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA

Esta pesquisa tem por foco a proposição de uma narrativa histórico-investigativa, identificando e evidenciando aspectos da natureza da ciência explorados no material, a fim de subsidiar seu uso por docentes em uma discussão desses aspectos no sentido de promover a alfabetização científica com estudantes a nível de Ensino Superior, formação inicial ou continuada.

A NHI foi pensada a partir das orientações de Allchin (2017b) e da proposta desenvolvida por Azevedo e Del Corso (2017) acerca da doença de Chagas. O trabalho de Azevedo e Del Corso (2017) foi tomado como um modelo, uma vez que tem todas as características apontadas por Allchin (2017b).

O primeiro passo para elaborar a proposta foi revisitar o quadro histórico, fazendo apontamentos e realizando um *brainstorming* em relação a pontos que precisariam ser abordados, a princípio destacaram-se:

- i) o fomento e o grande desenvolvimento dos estudos sobre os ares – termo utilizado na época, uma vez que ainda não havia acontecido a adesão ao termo gás;
- ii) os interesses de Priestley e como desenvolveu seu estudo, apoiado na teoria do flogisto;
- iii) o grande poder explicativo que a teoria do flogisto mantinha na época e sua aceitação entre muitos cientistas;
- iv) os estudos desenvolvidos e compartilhados por outros cientistas;
- v) a proposta de Lavoisier apresentada como uma visão diferente para um mesmo problema, mas não como uma descoberta que rompeu barreiras – aqui enfatiza-se seu pensamento em relação ao calórico, ideia hoje também rejeitada pela comunidade científica;
- e vi) a continuidade da crença na teoria do flogisto por alguns cientistas, mesmo após a rejeição pela maior parte da comunidade científica, que aderiu às ideias propostas por Lavoisier e ao mecanicismo.

Quanto ao ponto ii, observou-se a necessidade de buscar textos que contribuíssem para uma compreensão mais ampla sobre os estudos de Priestley. Os materiais selecionados foram o texto de Martins (2009), sobre os estudos deste cientista, e as próprias obras de Priestley (1772, 1774, 1775, 1777) – as quais forneceram um aprofundamento para identificar as questões que o motivaram e a forma como conduziu os experimentos. Ainda, o trabalho de Martins (2009) serviu

como referência de recursos visuais e informações adicionais que complementam a NHI.

Mantendo em foco os pontos mencionados, foi possível iniciar o desenvolvimento da proposta. As questões para pensar foram elaboradas em conjunto com o texto, ambos sofrendo modificações quando necessário para manter a coerência com o objetivo maior: a alfabetização científica.

“Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio”, como foi denominada a narrativa histórico-investigativa, acompanha Thomas Smith, um personagem fictício, o qual é aprendiz de Joseph Priestley durante os eventos da divergência entre teorias acerca da combustão. A escolha por um personagem fictício se justifica na liberdade para descrever diferentes situações em que o mesmo participaria, permanecendo no contexto histórico definido, porém sem estar somente ligado a fatos históricos em razão da sua não existência no mundo real. Em suma, buscou-se que fosse possível a liberdade criativa para o desenvolvimento da narrativa histórico-investigativa.

Inicialmente, a liberdade criativa não fica tão evidente, uma vez que Smith é colocado na posição de um assistente, que realiza procedimentos com Priestley; todavia, quando se torna necessário trazer as discussões sobre pensamentos divergentes, sobre o pensamento da comunidade científica, a ruptura com ideias consideradas filosóficas da Alquimia, Smith torna-se um personagem principal para mediar o processo dessas reflexões.

Apenas alguns acontecimentos, envolvendo Priestley e outros cientistas, foram mantidos na narrativa histórico-investigativa para que sua extensão fosse razoável para permitir uma atividade fomentadora da alfabetização científica, mas que não fosse extremamente cansativa na sala de aula.

Embora Priestley tenha publicado seu primeiro estudo sobre os gases em 1772, os acontecimentos alinhados à narrativa histórico-investigativa aqui elaborada são do ano de 1774 e 1775. Isso se dá porque a publicação de 1774 compreende estudos de diferentes gases, envolvendo a respiração e a inflamabilidade, e foi nesse período que conduziu o experimento que o levou, em 1775, a expor e fazer outros estudos sobre a forma de ar que denominou “ar desflogisticado”.

O ponto de início consiste numa contextualização de como o estudo sobre gases foi impulsionado, enquadrando os personagens nesse momento. Azevedo e Del Corso (2017) optou por não utilizar o nome completo Carlos Chagas,

chamando-o apenas de “Carlos” até o momento que culminou numa espécie de conclusões sobre a doença de chagas; seguindo essa ideia, utiliza-se somente “Joseph” a fim de evitar que o sobrenome “Priestley” seja associado a descoberta do oxigênio e influencie no desenvolvimento da atividade quando aplicada. Da mesma forma, é utilizado somente o nome “Antoine” para se referir a Lavoisier por uma parte da narrativa histórico-investigativa.

Após o momento da contextualização, o foco passa a ser os procedimentos e considerações que envolvem o processo de Priestley no estudo dos ares. O desenvolvimento foi feito destacando pontos que seriam essenciais para suscitar as reflexões das questões para pensar, assim como levando em conta o tempo necessário para a aplicação da narrativa histórico-investigativa.

O segundo momento trata da ideia dos equipamentos a fim de formar o caminho para discussões sobre a importância dos recursos para a produção de conhecimento científico. Logo em seguida, aborda-se como esse equipamento foi utilizado em experimentos para obtenção de ares; em específico, foi escolhido trabalhar apenas com ar comum (ar atmosférico), ar fixo (dióxido de carbono) e ar inflamável (gás hidrogênio) antes do processo de estudo do ar desflogisticado (gás oxigênio). Essa escolha se justifica em tentar assinalar somente alguns tópicos que ajudem a narrativa histórico-investigativa a fluir, sem colocar uma grande carga de conteúdo nos estudantes e permitir que as discussões sobre a natureza da ciência aconteçam.

Com base nisso, o próximo momento salienta os estudos de outros cientistas, Joseph Black e Henri Cavendish, sobre o ar fixo e o ar inflamável, respectivamente, tendo como objetivo evidenciar como a rede de informações na comunidade científica permitem que as pesquisas se desenvolvam, contribuem para novas ideias, novas visões sobre temas, entre outros.

Em seguida, o foco torna-se o processo e o uso de equipamentos que levou à obtenção de uma forma de ar a partir da cal vermelha de mercúrio. A caracterização desta forma de ar é discutida a partir de observações feitas por Priestley e Smith, assim como por meio da compreensão do que já havia sido estabelecido em outras pesquisas e era reconhecido como fato.

Assim, é fomentada uma comparação entre as formas de ar já conhecidas (ar comum, ar fixo e ar inflamável) com a nova forma de ar, a fim de permitir a formação

de uma linha de raciocínio similar ao que seria necessário fazer no exercício da atividade científica.

A partir disso, inicia-se a aproximação da forma de ar obtida com a ideia de flogisto, que levou ao nome “ar desflogisticado”. Nesse momento, buscou-se salientar a existência de uma teoria que era tomada como base para a explicação da combustão. Por meio desses apontamentos, é possível que os estudantes desenvolvam sua explicação inseridos no contexto em que esta teoria se fez presente, assim como possibilita explicitar de onde vem o raciocínio de Priestley para a forma de ar, seguindo sua crença na teoria do flogisto.

Após trazer as informações sobre a teoria do flogisto, busca-se suscitar reflexões sobre o debate entre teorias ao inserir a perspectiva de Lavoisier acerca do calórico e do oxigênio na reação de combustão. Ainda, a reflexão se estende sobre o que corrobora para que uma teoria seja aceita, destacando as raízes da teoria do flogisto na Alquimia.

A narrativa histórico-investigativa, portanto, foi desenvolvida buscando sintetizar o contexto de embate entre teorias, que finalizou com o prevalecimento das ideias de Lavoisier sobre a teoria do flogisto devido a maior aceitação entre seus pares. Ainda nesse contexto, foi pontuado o desuso da ideia de calórico quando foi possível compreender que o gás oxigênio era o ator essencial na combustão.

No decorrer do material, são apresentadas 11 questões, as quais foram pensadas considerando aspectos da natureza da ciência a serem discutidos a fim de promover a alfabetização científica, além de ter como modelo a estrutura utilizada por Azevedo e Del Corso (2017) em seu trabalho. Sendo a última um momento de reflexão sobre toda a atividade desenvolvida por meio da narrativa histórico-investigativa e as percepções dos estudantes sobre aspectos da natureza da ciência.

Ainda, destaca-se que apesar de todas contarem com a discussão entre os alunos, algumas delas também promovem outras atividades importantes para o desenvolvimento da alfabetização científica, como a identificação de características dos ares e o registro de informações. Foi elaborado um quadro para acompanhar cada Questão para pensar (QP) com instruções a fim de explicitar ações esperadas do docente para aquele momento, seja somente a mediação da discussão ou o fornecimento de material. Já as notas de rodapé são informações complementares

que podem ser úteis ao professor para contextualizar algo ou responder a algum questionamento dos alunos.

Figura 4 – Exemplo de quadro de instrução para o professor.

[Questão para pensar 2] Observando a Figura 8, reflita sobre a importância dos recursos financeiros e da infraestrutura no desenvolvimento de uma pesquisa. Sem o laboratório de Shelburne, a pesquisa de Joseph poderia ser desenvolvida? É possível fazer ciência fora das universidades e institutos de pesquisa?

Professor, disponibilize a imagem em forma de slide ou de material impresso para que as equipes possam identificar pontos importantes observados nela e trazer para a discussão em sala de aula. A mediação pode ser feita com questionamentos sobre a possibilidade de realizar experimentos sem certos recursos, sobre os locais nos quais esses recursos estão disponíveis, sobre o custo desses recursos e sobre a possibilidade de um cientista sozinho ter as condições financeiras para obtê-los.

Fonte: Autor (2024).

Um exemplo disso é percebido na QP6, que observa o que Azevedo e Del Corso (2017) propõem em sua QP1: uma espécie de reflexão com base na comparação de duas situações. Enquanto Azevedo e Del Corso (2017) trazem a comparação entre sintomas distintos a fim de pensar sobre a caracterização de uma doença, esta narrativa histórico-investigativa propõe a comparação entre a caracterização de diferentes ares com o objetivo de refletir sobre a descoberta ou não de uma nova forma gasosa.

No Quadro 3, são apresentadas cada Questão para pensar, descrevendo a atividade que se espera desenvolver em cada uma e o tempo estimado para desenvolvimento.

Quadro 3 – Descrição das Questões para pensar da NHI.

Questão para pensar	Atividade	Tempo estimado
[1] Quais informações você consideraria importante saber para iniciar os estudos sobre os ares? Quais técnicas e recursos poderiam ser necessários? Com base em suas respostas, qual caminho você pensaria em seguir para realizar uma pesquisa sobre os ares?	Discussão em sala Descrição de uma proposta de estudo dos ares	15 minutos
[2] Qual é a importância dos recursos financeiros e da infraestrutura no desenvolvimento de uma pesquisa? Sem o	Discussão em sala	10 minutos

laboratório de Shelburne, a pesquisa de Joseph poderia ser desenvolvida? É possível fazer ciência fora das universidades e institutos de pesquisa?		
[3] O que você faria para identificar qual forma de ar foi coletada? Quais informações seriam importantes para caracterizar o tipo de ar? Quais testes poderiam ser feitos?	Descrição do experimento Registro de informações observadas no experimento e reflexão sobre as mesmas	20 minutos
[4] Como eles poderiam ter certeza que fizeram uma caracterização correta? Quais critérios poderiam utilizar?	Discussão em sala	10 minutos
[5] Qual a importância de ter acesso aos trabalhos de outros cientistas? Como as informações dos estudos e dos resultados obtidos por outros pesquisadores poderiam auxiliar a pesquisa desenvolvida?	Discussão em sala	10 minutos
[6] Preencha o Quadro 4, com características que podem ser observadas para cada forma de ar. Comparando-as, pode-se entender que o ar obtido da cal vermelha de mercúrio já era conhecido ou se diferenciava? Qual a importância de realizar a comparação de uma pesquisa com outros estudos? Como seria possível ter certeza que era um ar já estudado ou uma nova forma de ar?	Identificação e registro de características das “formas de ar” Identificação de informações importantes por comparação	25 minutos
[7] Considerando a teoria do flogisto e o escrito de Joseph sobre essa forma de ar (abaixo), qual você acredita que seria a relação entre a queima de uma vela e o ar obtido da cal vermelha de mercúrio?	Discussão em sala	10 minutos
[8] O que você acredita que está relacionado com a aceitação ou não de uma teoria/hipótese? A concordância entre outros cientistas têm influência nesse processo?	Discussão em sala	10 minutos
[9] Observe o Quadro 5, o qual apresenta as características do flogisto e do calórico. É possível identificar qual das matérias eram verdadeiras? Como a comunidade científica poderia tomar uma decisão?	Identificação e registro de informações importantes por comparação	25 minutos
[10] A comparação de uma teoria com outras pode ser utilizada como fator para aceitação de uma ideia? Ela pode ser um fator decisivo ou são necessárias outras evidências? Quais aspectos devem ser considerados quando teorias estão em debate?	Discussão em sala	15 minutos
[11] Crie um mapa mental que apresente as características da teoria do flogisto, do	Elaboração de mapa mental	30 minutos

calórico e do oxigênio. Quais conclusões você pode fazer sobre o processo de construção e aceitação de um conhecimento na ciência observando esse mapa e considerando todas as discussões feitas até o momento?		
---	--	--

Fonte: Elaboração do autor.

A leitura do texto é feita pelo professor, conforme Allchin (2017) descreve, sendo que, neste recurso, é necessário o uso de materiais extras em alguns momentos para as discussões, como acesso a internet para assistir vídeos ou ler materiais extras. Os alunos podem ser divididos em duplas ou grupos para maximizar o uso do tempo, além de permitir o surgimento de divergências dentro da própria equipe, promovendo a reflexão sobre o funcionamento da própria comunidade científica em debates sobre teorias, hipóteses e experimentos.

Sugere-se que o material seja trabalhado considerando a divisão dos cinco tópicos da NHI para promover uma reflexão mais focada que vai se ampliando conforme aprofunda-se no contexto histórico trabalhado e não causar a dispersão devido a um trabalho cortado de forma aleatória. A forma proposta para abordar a NHI em um tempo total estimado de **4 horas e 30 minutos** consiste na separação de cinco encontros conforme descrito:

- Encontro 1 - A química pneumática (QP1 e QP2) com um tempo total estimado de **45** minutos.
- Encontro 2 - Caracterização das formas de ar (QP3, QP4 e QP5), com um tempo total estimado de **60** minutos.
- Encontro 3 - Experimentos com a cal vermelha de mercúrio (QP6 e QP7), com um tempo total estimado de **55** minutos.
- Encontro 4 - Debates na comunidade científica (QP8 e QP9), com um tempo total estimado de **50** minutos.
- Encontro 5 - Uma nova forma de ar? (QP10 e QP11), com um tempo total estimado de **60** minutos.

No entanto, é preciso destacar que o professor tem a liberdade e autonomia para utilizar o material da forma que mais lhe for conveniente. Os trabalhos de Allchin não direcionam um momento específico em que a NHI pode ser trabalhada no processo de ensino e aprendizagem; cabendo ao docente observar se lhe é mais adequada no início, meio ou fim de um conteúdo; ou mesmo, se o material vai ser

um suporte motivacional e engajador antes de chegar ao estudo, de fato, do conteúdo.

Não se pretende aqui, portanto, ditar uma sequência didática, não sendo imposta nenhuma reprodução do que foi proposto, nem mesmo o uso das próprias questões para pensar da forma como concebidas. As sugestões que acompanham as questões para pensar não são de modo algum uma obrigatoriedade, mas sim uma forma de auxiliar o docente caso tenha dúvidas ou ainda não se sinta a vontade para trabalhar com história da ciência sem um material mais instrutivo. De certa forma, pode-se considerar que as sugestões corroboram para o desenvolvimento do docente para mediar essas discussões, de modo que possa conduzir sua própria abordagem sem o uso das sugestões conforme adquire maior compreensão sobre o tema e mais confiança.

Além disso, entende-se que o tema explorado envolve um grande recorte histórico que pede muitas discussões e bibliografia que podem não se fazer presentes no Ensino Superior, ainda a NHI apresenta uma estrutura longa e complexa que exige um grande nível de abstração por parte dos estudantes. Isso reforça a configuração de sugestão e o destaque da autonomia do docente para escolher como utilizar o recurso em sua sala de aula, seja em parte, com pausas para aprofundamento em certos tópicos, ou outro.

Pode-se somente afirmar que o recurso tem potencial de ser um motivador para o próprio docente no que se refere a trabalhar com história da ciência no processo de ensino e aprendizagem, buscando essa e outras estratégias presentes na literatura para abordar discussões cruciais na formação a nível superior.

Com o objetivo de disponibilizar o recurso para uso de docentes, foi desenvolvido um material, por meio da ferramenta Canva, em PDF¹, o qual é apresentado em Apêndice I. Dessa forma, o professor pode facilmente fazer o download do PDF sem precisar acessar um trabalho mais longo.

A seguir, apresenta-se a NHI completa.

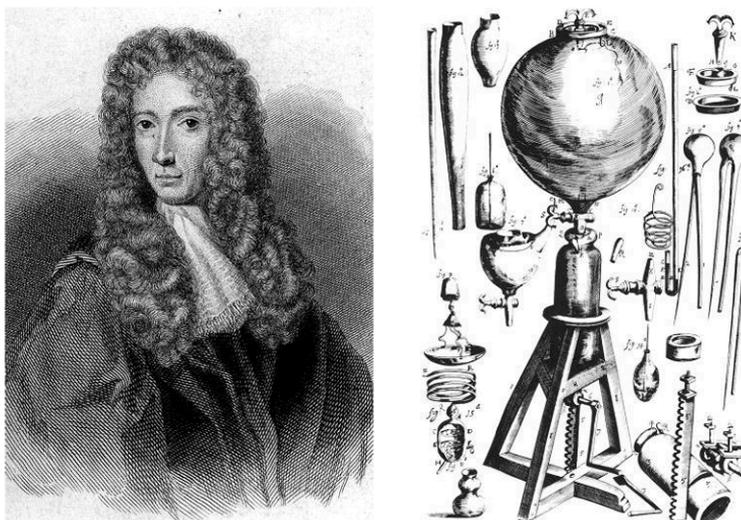
4.1 Narrativa histórico-investigativa: Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio

¹ https://drive.google.com/file/d/1hXagP-7Q0M7vWfQ0_zUMkW1QYH_tbkPI/view?usp=sharing.

A química pneumática

No século XVII, vários estudos ocasionaram mudanças na forma como os cientistas viriam a trabalhar posteriormente. Foi neste período que surgiram diferentes instrumentos, como a bomba de vácuo desenvolvida por Robert Boyle² (Figura 4), a qual permitia recolher ares obtidos em experimentos. Esse instrumento, somado a outras ideias teóricas que emergiram na época, impulsionaram estudos sobre os diferentes ares.

Figura 5 – Robert Boyle, à esquerda, e a bomba de vácuo, à direita.



Fonte: Martins, 2009, p. 178.

Assim, no século XVIII, os químicos passaram a realizar seus estudos em um ambiente bem diferente daqueles com os quais estavam acostumados. O desenvolvimento de equipamentos que permitiam isolar formas diferentes de ar demonstrou que o ar não é mais considerado um princípio que constitui a matéria de forma inerte. O ar passa a ser compreendido como uma matéria formada por diferentes corpúsculos que se movimentam e podem formar várias substâncias.

Desse modo, as reações não eram mais apenas limitadas à sólidos e líquidos, muitos cientistas passaram a se empenhar em estudos sobre a **química pneumática**, ou seja, estudos sobre os ares.

É nesse contexto que, em 1774, Thomas Smith se tornou aprendiz de Joseph, um pesquisador britânico com grande interesse pela ciência. Neste

² Pesquisador inglês que se dedicou aos estudos sobre o ar e o vácuo no século XVII.

momento, Joseph atuava como bibliotecário e assistente de Lorde Shelburne³, a fim de obter recursos financeiros para manter sua vida pessoal e profissional.

Assim, Thomas, tendo também o seu interesse pela ciência, iniciou sua jornada com Joseph como seu orientador, que já era professor da universidade. Eles realizaram estudos sobre os ares no laboratório oferecido por Lorde Shelburne.

Observe um recorte do texto de Joseph que apresenta uma síntese do momento inicial destes estudos:

Para uma melhor compreensão das experiências e observações sobre os diferentes tipos de ar contidos neste estudo, é útil relembra fatos que foram descobertos por outros e que ajudaram no prosseguimento destas investigações. Um fato de importância e já conhecido é que o Sr. Boyle descobriu, por meio de dois tipos notáveis de ar, que vapores podem ser obtidos a partir de substâncias sólidas.

O aparelho utilizado para estes experimentos, nada mais é do que o aparelho do Dr. Hales, do Dr. Brownrigg e do Sr. Cavendish, modificado e simplificado. Para obter o ar das substâncias sólidas por meio do calor, elas podem ser inseridas em recipiente em que uma extremidade pode ser colocada em fogo, como um tubo de vidro. O ar gerado deste aquecimento sai por outra extremidade, que está inserida em um recipiente preenchido com mercúrio, o qual permite a coleta do ar (Adaptado de Priestley (1774, p. 2, 6, 13)).

Por meio deste trecho, é possível entender que os estudos dos ares demandavam uma grande dedicação do cientista, incluindo seu tempo, uma grande quantidade de recursos e acesso ao conhecimento acerca de diferentes conceitos que envolviam o tema.

[Questão para pensar 1] Considerando o recorte textual apresentado, quais informações você consideraria importante saber para iniciar os estudos sobre os ares? Quais técnicas e recursos poderiam ser necessários? Com base em suas respostas, qual caminho você pensaria em seguir para realizar uma pesquisa sobre os ares?

Professor, disponibilize o recorte textual para leitura em forma de slide ou de material impresso para que as equipes possam trazer pontos importantes do mesmo para a discussão. Peça que registrem uma proposta de estudo sobre os ares, que você pode ajudar a mediar com questões como “Quais experimentos

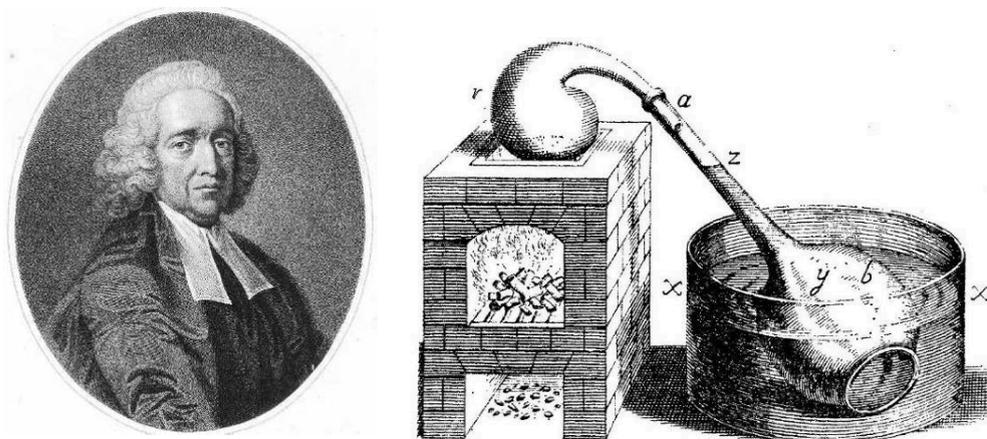
³ William Petty-Fitz Maurice, duque de Shelburne, convidou Priestley para trabalhar como tutor de seus filhos e como seu bibliotecário e assistente geral no fim do ano de 1772 (Martins, 2009).

poderiam ser feitos?"; "Seria importante verificar a cor ou o cheiro de um ar para entendê-lo?"; "Qual sua proposta para coletar o ar para estudo?".
Tempo estimado para a leitura de QP1 e para as discussões em sala: **15 minutos**.

Joseph e Thomas buscaram textos de outros estudos experimentais sobre os ares como base para a sua pesquisa. Foi dessa forma que encontraram inspiração na leitura dos trabalhos de Stephen Hales (Figura 6), o qual apresentou aos seus colegas um equipamento muito importante nas primeiras décadas de 1700: um aparato que permitia **separar os ares** de suas fontes.

Com esse equipamento, o ar liberado pelo aquecimento de um material era recolhido sob água. Dessa forma, era possível conduzir experimentos para caracterizar a forma de ar isolada.

Figura 6 - Stephen Hales, à esquerda, e um de seus aparatos para coletar ares, à direita.



Fonte: Martins, 2009, p. 185.

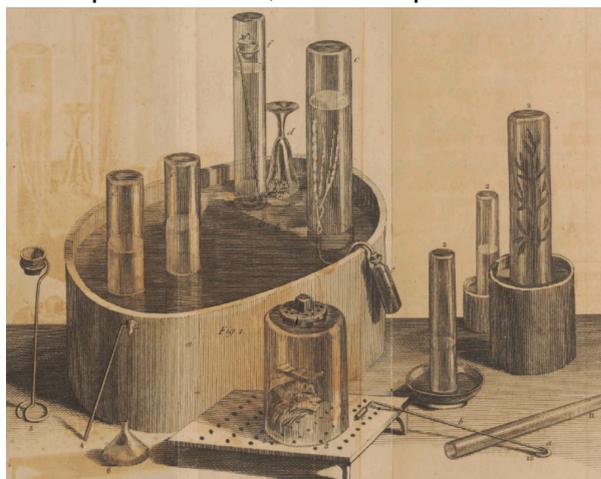
A partir dessa ideia, Thomas começou a auxiliar Joseph no desenvolvimento de um equipamento similar para as pesquisas. Ele passou a ler mais informações sobre como criar uma estrutura com base no que foi apresentado por Hales; enviar cartas a colegas cientistas para entender como coletavam ares e quais materiais e equipamentos utilizavam; comprar e testar peças; e avaliar a eficiência na coleta de ar em cada passo que davam para construir o aparato.

Juntos, eles confeccionaram o que Joseph denominou de "**cuba pneumática**". O equipamento consistia em um recipiente cheio de água em que se encontrava um suporte com furos para encaixar cilindros de vidro, também

preenchidos com água, de cabeça para baixo (Figura 7). Os ares eram introduzidos através de tubos para serem coletados nestes cilindros, na parte superior do recipiente – ou seja, acima da água.

Esse equipamento seria a estrutura essencial de seus experimentos, permitindo coletar formas de ar liberadas por diferentes substâncias após a calcinação.

Figura 7 – “Cuba pneumática”, utilizada para coletar formas de ar.



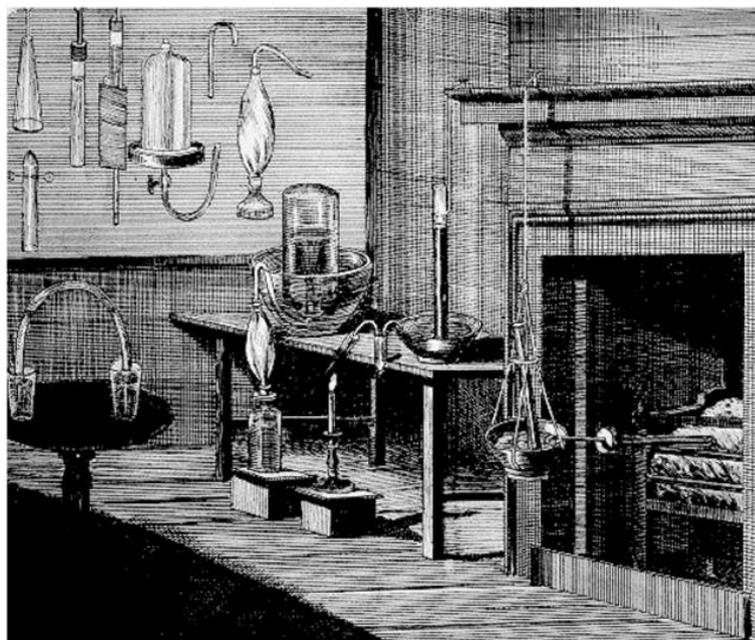
Fonte: Priestley, 1774.

[Questão para pensar 2] Observando a Figura 8, reflita sobre a importância dos recursos financeiros e da infraestrutura no desenvolvimento de uma pesquisa. Sem o laboratório de Shelburne, a pesquisa de Joseph poderia ser desenvolvida? É possível fazer ciência fora das universidades e institutos de pesquisa?

Professor, disponibilize a imagem em forma de slide ou de material impresso para que as equipes possam identificar pontos importantes observados nela e trazer para a discussão em sala de aula. A mediação pode ser feita com questionamentos sobre a possibilidade de realizar experimentos sem certos recursos, sobre os locais nos quais esses recursos estão disponíveis, sobre o custo desses recursos e sobre a possibilidade de um cientista sozinho ter as condições financeiras para obtê-los.

Tempo estimado para a leitura de QP2 e as discussões em sala: **10** minutos.

Figura 8 – Sala utilizada por Joseph para realizar seus estudos sobre os ares.



Fonte: Martins, 2009, p. 195.

Na próxima etapa da pesquisa, Thomas passou a ajudar Joseph com os experimentos de **calcinação**, ou seja, aquecimento de materiais (como ferro, zinco e magnésia alba⁴), de maneira que poderiam coletar algumas formas de ar para estudos.

Caracterização das formas de ar

O estudo dos ares não acaba após coletá-los, uma vez que se deseja conhecer o que cada um é, como reagem no mundo, suas características. Sobre uma das formas de ar coletadas, pode-se associar as seguintes características descritas por Joseph:

Um deles é mais denso que o ar comum. Esse ar permanece próximo ao fundo dos poços, extingue a chama de velas, e mata animais que o respiram (Adaptado de Priestley (1774, p. 2)).

[Questão para pensar 3] Pensando em quais informações seriam importantes para caracterizar uma forma de ar, descreva como você faria para identificar a forma de ar coletada. Quais testes poderiam ser feitos para verificar a diferença de densidade?

Professor, forneça o seguinte clipe do vídeo “Joseph Priestley Experiment” de

⁴ Atualmente, trata-se da substância conhecida como carbonato de magnésio.

Chary Digitals (2020) por meio do link⁵ para fomentar as discussões sobre experimentos de caracterização das formas de ar. Peça para que registrem a descrição do experimento, quais informações seriam obtidas e a importância delas.

Tempo estimado para a leitura de QP3, clipe, discussões e registro: **20 minutos**.

Joseph já conhecia os trabalhos publicados por alguns estudiosos sobre os ares, de forma que Thomas passou a buscar essas e outras pesquisas para auxiliar na caracterização das formas de ar coletadas. A cada leitura, ele anotava experimentos feitos e características identificadas.

Os estudiosos, ele observou, costumavam principalmente testar se o gás reagia com outras substâncias, se era inflamável, se apagava a chama de uma vela, se mantinha a chama de uma vela acesa, seu efeito em plantas e na respiração, entre outros experimentos.

O ar obtido a partir do ferro e do zinco era o mesmo. Eles observaram, após replicarem experimentos com base nas informações encontradas por Thomas, que era um ar inflamável, os animais não conseguiam respirá-lo por muito tempo e reagia com a água. Quando misturado com a água, era formada uma película (sobrenadante) fina vermelha, se o ar tivesse sido obtido do ferro, e branca se o ar tivesse sido obtido do zinco.

Thomas e Joseph perceberam, por meio dos experimentos, que a forma de ar obtida da calcinação da magnésia alba não era respirável, tinha afinidade com a água e apagava a chama de velas rapidamente.

Logo, essas formas de ar eram diferentes do **ar comum**, ou ar atmosférico, o qual os estudiosos já haviam pesquisado amplamente e divulgavam suas informações: reagia com água, respirável por um determinado tempo quando fechado em um recipiente, respirável normalmente no ambiente e permitia que a chama de uma vela permanecesse acesa por um determinado tempo.

[Questão para pensar 4] Como Joseph e Thomas poderiam ter certeza que fizeram uma caracterização correta? Quais critérios poderiam utilizar?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula com

⁵ <https://youtube.com/clip/UgkxBzegR3kaYTz2rT2arzqqEbAVu8d1wCz0?si=MTfx9JLUmkoM9N0x>.

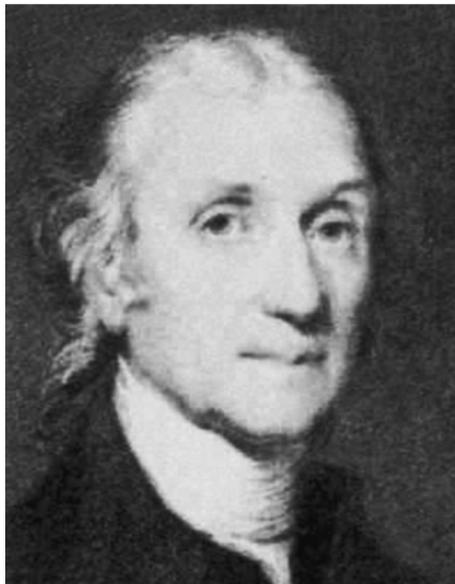
questionamentos sobre os tipos de critérios que os estudantes considerariam importantes para definir a credibilidade de um estudo: seria necessário avaliar a forma como o experimento foi feito? As anotações dos dados? A descrição das características? Deve-se considerar aspectos sobre os cientistas que realizaram o estudo?

Tempo estimado para a leitura de QP4 e discussões em sala: **10 minutos**.

Os trabalhos de Joseph Black, sobre o ar fixo, e de Henry Cavendish, sobre o ar inflamável, foram essenciais para que a caracterização feita por Joseph e Thomas pudesse ser aceita por outros cientistas, uma vez que essas pesquisas já eram muito reconhecidas e reproduzidas pela comunidade científica⁶.

Henry Cavendish, em 1766, conseguiu isolar uma forma de ar que chamou de **ar inflamável**. Esse ar saía dos metais que eram atacados por ácido e queimava facilmente em contato com uma chama. Ao realizarem o teste da chama com o ar coletado pela calcinação do ferro e do zinco, foi identificada a inflamabilidade do ar. Joseph e Thomas, ainda, observaram que esse ar não permitia a respiração dos seres vivos e poderia reagir com a água.

Figura 9 – Henry Cavendish.



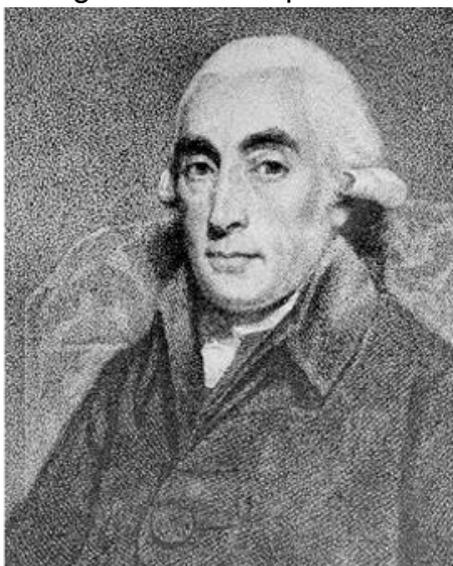
Fonte:

https://www.researchgate.net/figure/Sir-Henry-Cavendish-1731-1810-outstanding-English-scientist_fig1_257847131.

⁶ A comunidade científica é compreendida por Fourez (1195, p. 93) como “uma confraria onde os indivíduos se reconhecem como membros de um mesmo corpo”. Pode-se dizer que os cientistas se reconhecem como membros da comunidade que pratica ciência e têm princípios científicos semelhantes.

Joseph Black, em 1756, já havia realizado experimentos com magnésia alba. Ele registrou que, após a calcinação, a magnésia alba se tornava um pó branco e dela saía um ar, o qual Black observou que era uma espécie não respirável, sendo o mesmo tipo de ar liberado na respiração e na combustão (queima) de materiais. Ele afirmou que esse ar, o qual chamou de **ar fixo**, era o mesmo gás silvestre já observado por Van Helmont, em 1600.

Figura 10 – Joseph Black.



Fonte: Martins, 2009, p. 187.

[Questão para pensar 5] Com base nos estudos conduzidos por Joseph e Thomas, como as informações e os resultados obtidos por outros pesquisadores podem auxiliar no desenvolvimento de uma pesquisa? Qual é a importância de ter acesso aos trabalhos de outros cientistas?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula com questões como “A pesquisa de Joseph e Thomas teria tido sucesso na caracterização dos ares sem acesso aos trabalhos de Cavendish e Black?”, “Os resultados descritos por Cavendish e Black influenciaram na aceitação dos estudos de Joseph e Thomas?”.

Tempo estimado para a leitura de QP5 e discussões em sala: **5 minutos**.

Joseph percebeu que alguns ares se misturavam ou reagiam com a água que preenchia o equipamento que utilizavam. Por isso, solicitou que Thomas buscasse

em suas leituras outras substâncias utilizadas pelos estudiosos para a coleta de ares.

Thomas identificou, por meio de seus estudos, que o **mercúrio líquido** era uma alternativa comum, considerado o método mais preciso para extrair os ares. Portanto, comunicou isso a Joseph e, a pedido de seu orientador, enviou cartas para solicitar a compra desse material para os próximos experimentos.

Experimentos com a cal vermelha de mercúrio

Para prosseguir com os estudos, Joseph também obteve uma lente adequada para concentrar a luz solar em substâncias em pó a fim de coletar o ar liberado por elas. Isso foi necessário para substituir o espelho que utilizavam e que não permitia realizar os experimentos com substâncias em forma de pó e nem com qualquer material que precisasse ficar no recipiente com mercúrio.

Assim, com a lente, Thomas e Joseph realizaram o experimento para focar a luz solar em **cal vermelha de mercúrio**⁷ a fim de identificar a forma de ar que poderia ser coletada.

No equipamento, existia um recipiente de vidro com mercúrio líquido posicionado de cabeça para baixo em outro recipiente cheio de mercúrio. Por baixo, era adicionada outra substância menos densa que o mercúrio para ficar na parte superior do recipiente. Dessa forma, era possível aquecer a substância com a lente e os ares liberados por meio da calcinação passavam pelo mercúrio e eram coletados no recipiente de vidro.

A forma de ar obtida da cal vermelha de mercúrio foi testada com experimentos já identificados por Thomas nos estudos de diversos cientistas e já realizados por eles para caracterizar outras formas de ar: experimento com a água, observando que se misturava a ela; experimento com uma vela, sendo possível identificar sua capacidade de manter a chama acesa de forma muito brilhante e por um longo período de tempo; e experimento com animais (ratos), os quais, eles observaram, podiam respirar essa forma de ar.

[Questão para pensar 6] Preencha o Quadro 4, com características que podem ser observadas para cada forma de ar. Comparando-as, pode-se entender que o ar

⁷ Pó vermelho obtido por meio de aquecimento do mercúrio líquido no ar; mercúrio calcinado, conhecido atualmente como “óxido de mercúrio”.

obtido da cal vermelha de mercúrio já era conhecido ou se diferenciava? Qual a importância de realizar a comparação de uma pesquisa com outros estudos? Como seria possível ter certeza que era um ar já estudado ou uma nova forma de ar?

Quadro 4 - Características de formas de ar estudadas por Joseph e Thomas.

Forma de ar	Características
Ar fixo	
Ar inflamável	
Ar comum	
Ar obtido da cal vermelha de mercúrio	

Fonte: Elaboração própria.

Professor, forneça esse quadro em material impresso ou solicite que criem o quadro em papel para registro. As informações sobre cada forma de ar estão disponíveis no próprio material, mas seguem-se abaixo características que podem ser registradas no Quadro:

- O ar fixo é liberado na queima de materiais, é liberado na respiração, é capaz de apagar chama de uma vela, não é respirável.
- O ar inflamável reage com a água, é facilmente inflamável, é liberado por metais ao reagirem com ácido e não é respirável.
- O ar comum reage com a água, é respirável por um determinado tempo quando fechado em um recipiente, respirável normalmente no ambiente, permite que a chama de uma vela permaneça acesa por um determinado tempo.
- O ar obtido da cal vermelha de mercúrio reage com a água, é liberado por aquecimento da cal vermelha de mercúrio, permite que a chama de uma vela brilhe ardentemente por um longo período e é respirável por um longo

período.
Podem ser feitas questões associadas a essas características para mediar discussões.
Tempo estimado para a leitura de QP6, discussões e registro: **20 minutos**.

Joseph e Thomas perceberam que existiam diferenças entre a forma de ar obtida da cal vermelha de mercúrio e o ar inflamável e o ar fixo, visto que este ar era respirável e os outros não. No entanto, as diferenças ainda pareciam pequenas em relação ao ar comum, de forma que Thomas acreditava que poderiam ter obtido essa forma de ar.

Apesar de ter comunicado esse pensamento ao seu orientador, Joseph estava intrigado pela forma de ar e solicitou o envio de cartas aos colegas cientistas para marcar uma reunião em que pretendia compartilhar as descobertas que fizeram.

Em uma viagem a Paris, acompanhando Lorde Shelburne, Joseph se reuniu com Antoine, um acadêmico e administrador que financiava seu próprio laboratório de pesquisa e já era muito reconhecido pela comunidade científica. Joseph compartilhou com ele as anotações e descreveu o experimento feito e os resultados obtidos. Ao voltar da viagem, Joseph contou à Thomas que Antoine também acreditava que a forma de ar poderia se tratar somente de ar comum, mas informou que iria replicar o experimento e enviar cartas sobre suas conclusões.

Joseph decidiu que também deveriam fazer mais estudos, por isso buscou, juntamente com Thomas, observar o período em que era possível respirar as duas formas de ar. Por meio do experimento, eles perceberam que a nova forma de ar era respirável por um período muito superior ao ar comum, sendo também cinco ou seis vezes mais puro que o ar comum.

Além disso, a chama da vela não apenas permanecia acesa, mas ardia de forma nunca antes vista. Quanto a esse aspecto, Joseph percebeu que era preciso entender melhor como a nova forma de ar poderia estar relacionada a esse processo.

Joseph, então, solicitou que Thomas lesse sobre o processo de queima e como ele era explicado pelos estudiosos, de forma que pudesse contribuir de forma mais eficiente para a pesquisa. Em suas leituras, Thomas percebeu que esse fenômeno estava associado à ideia de forças e movimento das partículas que

formam a matéria. Ele identificou que a teoria mais utilizada para explicar o que acontece na queima de uma matéria era chamada de **teoria do flogisto**.

Segundo essa teoria, a matéria continha, em princípio, água e terra, sendo a terra de dois tipos: a vitrificável, sólida; e a flogística, leve e inflamável. O fogo era considerado um instrumento capaz de colocar o flogisto em movimento; logo, durante a queima, o material perdia o seu flogisto e o liberava para o ar. O ar ficava tão cheio de flogisto que não era mais possível acontecer a queima e a respiração, por exemplo.

Com suas anotações sobre tudo que observou em suas leituras, Thomas se sentiu mais preparado para tentar entender e explicar como a nova forma de ar poderia estar relacionada com o fato de a chama da vela arder de forma tão esplendorosa.

[Questão para pensar 7] Considerando a teoria do flogisto e o escrito de Joseph sobre o ar obtido da cal vermelha de mercúrio (abaixo), qual você acredita que seria a relação entre a queima de uma vela e essa forma de ar?

Estando agora plenamente satisfeito com a natureza desta nova espécie de ar, que, sendo capaz de extrair mais flogisto do ar nitroso, contém originalmente menos deste princípio [...] (Priestley, 1775, p. 48).

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula, podem ser úteis questionamentos que ajudem os alunos a trabalharem em identificar informações relevantes nos resultados dos experimentos e formarem um processo de raciocínio para relacionar com aspectos da teoria do flogisto.

Tempo estimado para a leitura de QP7 e discussões em sala: **10 minutos**.

Joseph e Thomas se reuniram para discutir sobre os resultados observados no experimento e como poderiam explicá-lo de acordo com a teoria do flogisto. Após um longo debate, chegaram à conclusão de que a nova forma de ar era capaz de receber uma grande quantidade de flogisto liberado pela queima da vela, uma vez que a chama permanecia acesa por um longo período de tempo. Logo, Thomas acrescentou, essa forma de ar continha pouco flogisto. Por esse motivo, Joseph chamou o ar obtido do aquecimento da cal vermelha de mercúrio de “**ar desflogisticado**”, no trabalho publicado em 1775.

Thomas sentiu que ajudou Joseph a fazer uma grande contribuição para a química pneumática, em razão da caracterização de uma nova forma de ar.

Debates na comunidade científica

Joseph e Thomas celebraram grandemente quando os resultados de sua pesquisa foram confirmados e se tornaram discutidos publicamente quando Antoine, que era pesquisador de outra universidade, afirmou que a forma de ar obtida era a parte mais pura do ar atmosférico, inclusive a chamou de “**ar vital**”. Além disso, Carl Wilhelm Scheele havia enviado uma carta para Joseph sobre sua pesquisa, realizada antes dos estudos de Thomas e Joseph, afirmando que também havia utilizado o flogisto para caracterizar esse ar que constituía atmosfera, sendo ele capaz de absorver o flogisto contido em outra matéria.

Figura 11 – Carl Wilhelm Scheele.



Fonte: <https://www.invivo.fiocruz.br/cienciaetecnologia/carl-william-scheele-1742-1786/>.

[Questão para pensar 8] O que você acredita que está relacionado com a aceitação ou não de uma teoria/hipótese? A concordância entre outros cientistas têm influência nesse processo?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula, podem ser feitos questionamentos como “Existem aspectos da pesquisa que poderiam ser relevantes para isso?”, “Se Joseph e Thomas não tivessem seguido os estudos de

Black e Cavendish, a pesquisa teria sido aceita da mesma forma?”, “Como os estudos de Scheele podem ter sido importantes para a aceitação da pesquisa?”.
Tempo estimado para a leitura de QP8 e discussões em sala: **10** minutos.

Mesmo que fosse amplamente utilizada, Joseph sabia que a ideia de flogisto já era debatida e criticada desde o início da década de 1770, sendo Antoine um dos cientistas que questionava essa teoria, pois segundo ele:

A ciência atual apresenta muitas lacunas que quebram a sequência encadeada dos factos e exigem ligações suplementares embaraçosas e difíceis [...] (Lavoisier, 1789, p. 12)

Joseph já tinha conhecimento do problema amplamente discutido: uma vez que o fogo movimentava o flogisto, retirando-o da matéria, como poderia acontecer o ganho de peso de metais em uma calcinação?.

Antoine já havia demonstrado, em 1772, um experimento de queima de enxofre em recipiente fechado. Ele realizou a pesagem de cada parte separadamente e também do conjunto antes e depois da reação de combustão, constatando que o peso total era mantido.

Já sendo oposto à teoria de flogisto, Antoine trabalhou em experimentos meticulosos e apresentou à comunidade científica seu trabalho, em 1777, apontando que poderia ser o ar que estivesse envolvido na reação de queima, combinando-se com o metal e causando a liberação de uma matéria de fogo, que chamou de **calórico**, responsável por produzir o calor ou a sensação de calor.

Thomas após ler a pesquisa publicada por Antoine, compartilhou com Joseph suas preocupações, descobrindo que seu orientador também temia que houvesse um problema entre as ideias de Antoine e os estudos feitos por grande parte dos colegas cientistas.

Os debates, de fato, começaram a surgir. Por isso, Thomas buscou, a partir de 1777, contribuir para que a teoria do flogisto, e, conseqüentemente a caracterização do ar desflogisticado, fossem amplamente aceitas entre os colegas cientistas. Ele se dedicou a buscar material que o ajudasse nessa tarefa, enquanto Joseph continuava a pesquisa sobre os ares.

[Questão para pensar 9] Observe o Quadro 5, o qual apresenta as características do flogisto e do calórico. É possível identificar qual das matérias eram verdadeiras? Como a comunidade científica poderia tomar uma decisão?

Quadro 5 - Características do flogisto e do calórico, presentes em teorias sobre a combustão.

Matéria	Características
Flogisto	O flogisto, princípio do fogo que estava no material, era liberado durante a combustão que causava essa desunião da matéria.
Calórico	A combinação com uma parte do ar durante a queima ocasiona a liberação do calórico, princípio do fogo contido no ar.

Fonte: Elaboração própria.

Professor, solicite um registro de critérios que a equipe utilizaria para escolher uma das matérias como verdadeira. Após compartilharem suas ideias e debaterem com outros grupos defendendo ou atacando pontos, realize uma mediação que tem como ponto principal discutir se as duas matérias eram tão diferentes assim.
Tempo estimado para a leitura de QP9 e discussões em sala: **25 minutos**.

Uma nova forma de ar?

Thomas leu diferentes textos que pudessem ajudá-lo a trazer um fundamento incontestável para a teoria do flogisto, e seu trabalho se prolongou por um certo período, sendo na **Alquimia** que encontrou o que acharia ser o seu triunfo.

Em suas leituras, Thomas identificou que a Alquimia foi a principal forma de conhecimento utilizada para explicar os fenômenos observados por cerca de quatro séculos. Uma das ideias principais da Alquimia assinalada por Thomas era a teoria dos quatro elementos, popularizada pelo filósofo grego Aristóteles. De acordo com essa teoria, toda matéria era formada por uma combinação de elementos, os quais são: fogo, ar, água e terra. Nessa perspectiva, Thomas apontou uma conexão entre a teoria do flogisto, que afirmava a constituição da matéria por água e terra, e uma forma de conhecimento que perdurou por séculos.

Considerando que a teoria do flogisto poderia ser comparada com uma teoria de muito reconhecimento, Thomas acreditou que tinha uma base muito forte que

contribuía para que essa teoria se confirmasse como verdadeira, finalizando os debates suscitados por Antoine.

[Questão para pensar 10] A comparação de uma teoria com outras pode ser utilizada como fator para aceitação de uma ideia? Ela pode ser um fator decisivo ou são necessárias outras evidências? Quais aspectos devem ser considerados quando teorias estão em debate?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula, perguntando quais critérios e evidências as equipes considerariam como prova da veracidade de uma teoria. Todos os aspectos apontados são de caráter científico (coerência com o conhecimento, experimentos) ou existem aspectos diferentes que influenciam esse processo? Aborde esse questionamento para fomentar a reflexão sobre aspectos externos à ciência que influenciam na construção do conhecimento, por exemplo, a fama de Antoine.

Tempo estimado para a leitura de QP10 e discussões em sala: **10** minutos.

Mesmo tentando levantar esses pontos, Thomas e outros estudiosos não eram ouvidos por muitos colegas e a teoria do flogisto passou a ser cada vez menos utilizada e valorizada, sendo favorecido o pensamento de Antoine, que ganhava cada vez mais reconhecimento. A sua proposta de que o calórico e o oxigênio eram os principais atores na combustão conquistou muitos adeptos, enquanto a teoria do flogisto perdia a sua força. Sobre a superação dos erros que via na teoria do flogisto, Antoine escreveu:

O único meio de evitar estes erros é suspender, ou pelo menos simplificar ao máximo, o raciocínio que nos pode conduzir ao erro; submetê-lo à prova da experiência; conservar apenas os fatos que nos são dados pela natureza; procurar apenas a verdade no encadeamento natural das experiências e observações [...] (Lavoisier, 1789, p. 10).

Em 1783, Antoine, utilizando de seus muitos recursos e equipamentos, realizou, junto a Pierre-Simon Laplace, uma demonstração experimental sobre a composição da água, sintetizando-a a partir de ar inflamável e ar vital, o qual era chamado agora de **gás oxigênio**.

Figura 12 – Pierre-Simon Laplace.



Fonte:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_Laplace#/media/Ficheiro:Pierre-Simon-Laplace_\(1749-1827\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_Laplace#/media/Ficheiro:Pierre-Simon-Laplace_(1749-1827).jpg).

Thomas, que assistiu a essa demonstração, recordou que um experimento similar já tinha sido realizado por Cavendish, em 1781, em que a queima do ar inflamável com o ar desflogisticado produziu uma névoa úmida no vidro. Joseph apontou para ele, na época, que o ar inflamável, na verdade, era ar inflamável sobrecarregado com flogisto, que era liberado durante a combustão para o ar desflogisticado. Porém, Thomas sentiu que a demonstração de Antoine trouxe uma nova perspectiva para a comunidade científica.

Após isso, Thomas observou que a interpretação fornecida pelo flogisto passou a cair em desuso ainda mais rapidamente, mesmo que muitos cientistas, inclusive Joseph Priestley, seu orientador, tivessem acreditado nela e ainda afirmassem utilizar essa teoria em seus estudos até o fim de suas vidas. Thomas percebeu que a teoria proposta por Antoine Laurent Lavoisier de que o calórico fazia parte do processo de queima prevalecia na mente e estudos da comunidade científica.

Figura 13 – Joseph Priestley.



Fonte: Martins, 2009, p. 170.

Figura 14 – Antoine Laurent Lavoisier.



Fonte:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier#/media/Ficheiro:David_-_Portrait_of_Monsieur_Lavoisier_\(cropped\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier#/media/Ficheiro:David_-_Portrait_of_Monsieur_Lavoisier_(cropped).jpg).

Nos anos seguintes, em que Thomas havia decidido apenas ler sobre ciência e não mais praticá-la, ele observou a teoria de Lavoisier passar por muitas críticas na comunidade científica até que a ideia de calórico fosse abandonada e se tornasse amplamente aceito entre os cientistas que é o **gás oxigênio** o ator essencial em uma reação de combustão.

Até os dias atuais, explica-se a queima de um material com base nesse gás: o gás oxigênio reage com um material combustível, suscetível ao processo de combustão, quando é fornecida uma fonte de energia, uma chama, que ativa a

reação. A reação química continua enquanto houver gás oxigênio para reagir com o combustível e permitir a queima do material.

[Questão para pensar 11] Crie um mapa mental que apresente as características da teoria do flogisto, do calórico e do oxigênio. Quais conclusões você pode fazer sobre o processo de construção e aceitação de um conhecimento na ciência observando esse mapa e considerando todas as discussões feitas até o momento?

Professor, forneça como material cartolinas a fim de que a equipa produza o mapa mental e apresente suas considerações para os colegas. Após isso, realize uma síntese das discussões destacando pontos importantes sobre a importância de recursos, sobre o uso de teorias para embasar experimentos, sobre a comunicação entre cientistas, sobre o processo de aceitação de teorias.

Tempo estimado para a leitura de QP11 e discussões em sala: **30** minutos.

CAPÍTULO 5: POTENCIALIDADES DA NARRATIVA HISTÓRICO-INVESTIGATIVA

A narrativa histórico-investigativa “**Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio**” consiste num material que aborda o contexto histórico que culminou no estudo do gás oxigênio. No decorrer da narrativa, acompanha-se uma perspectiva adaptada de Joseph Priestley a fim de propiciar a investigação, por meio das questões para pensar, que traz à tona os conflitos que envolvem as teorias, bem como os diferentes elementos de uma pesquisa.

Esse material foi elaborado como um recurso que pode ser utilizado pelo professor com o intuito de promover reflexões sobre aspectos da natureza da ciência e contribuir para a alfabetização científica dos estudantes.

As 11 questões para pensar são propostas como pausas, momentos em que se prioriza tal reflexão sobre, nas palavras de Allchin (2017), como a ciência funciona, como chega às suas respostas.

No Quadro 6, apresenta-se as questões para pensar, as dimensões de credibilidade da ciência, apontadas por Allchin (2011), e os aspectos da natureza da ciência que podem ser explorados por meio de cada questão.

Quadro 6 – Temas associados à natureza da ciência potencializados pelas Questões para pensar.

Questão para pensar	Dimensões (Allchin, 2011)	Aspectos da natureza da ciência
[1] Quais informações você consideraria importante saber para iniciar os estudos sobre os ares? Quais técnicas e recursos poderiam ser necessários? Com base em suas respostas, qual caminho você pensaria em seguir para realizar uma pesquisa sobre os ares?	Experimentos Padrões de raciocínio Instrumentação Dimensão humana Dimensão sociocultural	A importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico O papel do acesso ao conhecimento sobre práticas experimentais e instrumentos A importância de saber analisar a relevância de evidências O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento

<p>[2] Qual é a importância dos recursos financeiros e da infraestrutura no desenvolvimento de uma pesquisa? Sem o laboratório de Shelburne, a pesquisa de Joseph poderia ser desenvolvida? É possível fazer ciência fora das universidades e institutos de pesquisa?</p>	<p>Economia e/ou financiamento Instrumentação</p>	<p>O papel do acesso ao conhecimento sobre práticas experimentais e novos instrumentos</p> <p>A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento</p>
<p>[3] O que você faria para identificar qual forma de ar foi coletada? Quais informações seriam importantes para caracterizar o tipo de ar? Quais testes poderiam ser feitos?</p>	<p>Observações e medidas Experimentos Instrumentação Dimensão sociocultural</p>	<p>O papel do acesso ao conhecimento sobre práticas experimentais e instrumentos</p> <p>A importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico</p> <p>A importância de saber analisar a relevância de evidências</p> <p>O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação</p> <p>A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento</p>
<p>[4] Como eles poderiam ter certeza que fizeram uma caracterização correta? Quais critérios poderiam utilizar?</p>	<p>Observações e medidas Experimentos Dimensão histórica Dimensão sociocultural</p>	<p>A importância de saber analisar a relevância de evidências</p> <p>A importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico</p> <p>O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação</p> <p>A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento</p>
<p>[5] Qual a importância de ter acesso aos trabalhos de outros cientistas? Como as informações dos estudos e dos resultados obtidos por outros pesquisadores poderiam</p>	<p>Dimensão histórica Interações entre cientistas Comunicação do conhecimento</p>	<p>A importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico</p> <p>O papel da base teórica e o</p>

auxiliar a pesquisa desenvolvida?		reconhecimento da credibilidade de uma informação
[6] Preencha o Quadro 4, com características que podem ser observadas para cada forma de ar. Comparando-as, pode-se entender que o ar obtido da cal vermelha de mercúrio já era conhecido ou se diferenciava? Qual a importância de realizar a comparação de uma pesquisa com outros estudos? Como seria possível ter certeza que era um ar já estudado ou uma nova forma de ar?	Observações e medidas Experimentos Dimensão histórica Padrões de raciocínio	A importância de saber analisar a relevância de evidências A importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação
[7] Considerando a teoria do flogisto e o escrito de Joseph sobre essa forma de ar (abaixo), qual você acredita que seria a relação entre a queima de uma vela e o ar obtido da cal vermelha de mercúrio?	Experimentos Padrões de raciocínio Instrumentação Dimensão sociocultural	O papel do acesso ao conhecimento sobre práticas experimentais e instrumentos A importância de saber analisar a relevância de evidências O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação A importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico
[8] O que você acredita que está relacionado com a aceitação ou não de uma teoria/hipótese? A concordância entre outros cientistas têm influência nesse processo?	Observações e medidas Dimensão histórica Padrões de raciocínio Interações entre cientistas Dimensão humana Dimensão sociocultural	O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento
[9] Observe o Quadro 5, o qual apresenta as características do flogisto e do calórico. É possível identificar qual das matérias eram verdadeiras? Como a comunidade científica poderia tomar uma decisão?	Observações e medidas Padrões de raciocínio Interações entre cientistas Comunicação do conhecimento Dimensão histórica Dimensão sociocultural	O papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento
[10] A comparação de uma teoria com outras pode ser	Observações e medidas Dimensão histórica	O papel da base teórica e o reconhecimento da

<p>utilizada como fator para aceitação de uma ideia? Ela pode ser um fator decisivo ou são necessárias outras evidências? Quais aspectos devem ser considerados quando teorias estão em debate?</p>	<p>Interações entre cientistas Padrões de raciocínio Dimensão sociocultural</p>	<p>credibilidade de uma informação</p> <p>A importância de saber analisar a relevância de evidências</p> <p>A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento</p>
<p>[11] Crie um mapa mental que apresente as características da teoria do flogisto, do calórico e do oxigênio. Quais conclusões você pode fazer sobre o processo de construção e aceitação de um conhecimento na ciência observando esse mapa e considerando todas as discussões feitas até o momento?</p>	<p>Dimensão histórica Padrões de raciocínio Dimensão sociocultural</p>	<p>A influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento</p>

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que muitas questões apresentadas são próximas a questões autênticas que poderiam surgir no episódio histórico, isso se justifica pelo próprio fim do material: proporcionar uma aproximação do “fazer ciência”, abordar as questões de natureza da ciência que estão presentes no real da atividade científica. Logo, durante seu trabalho, um cientista se questiona

quais são os desafios no desenvolvimento de provas fiáveis, ou na decisão entre duas teorias alternativas, ou na avaliação da credibilidade do testemunho de alguém? Em geral, “como sabemos disso?” ou “como podemos ter confiança em nossa conclusão?” (Allchin, 2017b, p. 105, tradução da autora).

Apesar das dimensões estarem todas associadas – envolvendo aspectos da natureza da ciência essenciais para desenvolver a habilidade de tomar decisões bem informadas –, são tratados temas específicos em cada uma que se destacam em determinadas questões para pensar. Além disso, é preciso destacar que nem todas as dimensões foram aprofundadas em razão das escolhas necessárias na produção da NHI que ocasionam certas limitações; isso pode ser observado com a dimensão humana e com a dimensão econômica, por exemplo.

Em seguida, é apresentada uma discussão da forma como cada dimensão e aspecto da natureza da ciência foi pensado na NHI para promover a reflexão e

viabilizar a alfabetização científica, fornecendo uma espécie de guia segundo as potencialidades identificadas, no entanto, não limitando o trabalho que pode ser desenvolvido pelo docente em sala de aula com uma diversidade de recursos complementares.

Observações e medidas

A dimensão observação e raciocínio está presente nas questões para pensar 3, 4, 6, 8, 9 e 10. Essa dimensão trata da confiabilidade do conhecimento científico, que está associada à consistência dos resultados apresentados ao longo do estudo. Por isso, discute-se o discernimento da qualidade e precisão das evidências; a compreensão do papel de estudos sistemáticos, os quais consideram a realização de um processo definido e a revisão dele buscando diminuir inconsistências; o reconhecimento da coerência entre informações que compõem o conhecimento; entre outros. Conforme afirmam Gomes e Silva (2017)

A importância da coleta de dados está, dentre outras coisas, relacionada diretamente com as conclusões que se vai tirar e com a possibilidade de replicação desse experimento em outros contextos. É importante também ter clareza quanto ao que se quer responder ou aquilo que se quer explorar, a coleta de dados confiáveis deve estar alinhada com o desenvolvimento da pesquisa para que não se gaste energia e dinheiro em pesquisas que não ajudam tanto o desenvolvimento do projeto no qual se está trabalhando (Gomes; Silva, 2017, p. 93).

Vasconcelos e Forato (2018) apontam como o trabalho de Niels Bohr não respondeu a tudo que ele almejava dentro da Física e da Química, sendo apontados diversos erros por seus pares que foram trabalhados em estudos sistemáticos desenvolvidos por ele e pela comunidade científica.

Na QP3 desta NHI, a dimensão é observada em relação à necessidade dos estudos sistemáticos e à atividade de obter evidências de alta qualidade na pesquisa. Já em QP4 e QP8, a confiabilidade do conhecimento é colocada em questão como um critério de avaliação utilizado pela comunidade científica, sendo um ponto crucial para a aceitação ou rejeição de hipóteses e teorias, uma vez que a presença de inconsistências nos estudos e incoerência entre as ideias leva a perda de credibilidade.

Por fim, em QP6, QP9 e QP10, a discussão sobre confiabilidade não é feita de forma direta, mas está presente implicitamente para permitir uma resposta

reflexiva. Isso decorre do uso do critério da confiabilidade para utilizar a comparação entre teorias e, como mencionado, para avaliação.

Dessa forma, pode-se pensar que essa dimensão está associada ao desenvolvimento da habilidade de observar e analisar, que envolve justamente discernir se existe qualidade e precisão de evidências e coerência presente em uma pesquisa. Ainda, contribui para entender que o processo que envolve as observações e medidas não constitui um único método que revela a verdade, pelo contrário, existem vários caminhos na produção de um conhecimento confiável que estão também associados a procedimentos e limitações materiais e culturais ao longo da história (Moura, 2021).

Segundo, Allchin (2011, p. 521), “os alunos devem desenvolver uma compreensão de como a ciência funciona com o objetivo de interpretar a confiabilidade das afirmações científicas na tomada de decisões pessoais e públicas”. Essa habilidade é imprescindível quando se trata da leitura e compreensão da atividade e trabalho científico, servindo para reconhecer quando confiar em cientistas e quando ter cuidado para não se sujeitar aos seus interesses (Fourez, 1995). Isso só é possível quando os alunos têm a oportunidade de conhecer mais sobre a atividade científica e o que os cientistas fazem, para assim ter a capacidade de realizar análises e formular questionamentos e críticos com argumentos científicos, o que é necessário em muitos debates sociais.

Experimentos

A dimensão método de investigação foi tratada nas questões para pensar 1, 3, 4, 6 e 7. O foco desta dimensão está em aspectos da produção do conhecimento científico que se refere ao experimento controlado, à replicação de experimentos, ao papel do erro, entre outros.

Refletir sobre esses aspectos oportunizar reconhecer que a observação científica não é neutra frente aos fenômenos, pelo contrário tanto a observação quanto às explicações se moldam com base no que é coerente para o corpo de conhecimento, o que é relevante segundo os fatos aceitos na comunidade científica, as teorias e fatos que fundamentam o controle do experimento. Dessa forma, pode-se fomentar a compreensão de que “a noção de observação “completa” evidentemente não tem sentido algum, uma vez que observar é sempre selecionar, estruturar e, portanto, abandonar o que não se utiliza” (Fourez, 1997, p. 44).

Nestas discussões, busca-se suscitar a compreensão de que a atividade científica não traz um reflexo do mundo, pelo contrário “fazer ciência é construir representações simplificadas e reduzidas do nosso complexo mundo” (Fourez, 1995, p. 914). O processo de redução e simplificação acontece justamente no “laboratório”, que não se refere somente ao local físico, como Fourez (1995) aponta, mas ao conjunto que permite ao cientista fazer um experimento controlado, seguindo os dados e evidências que precisa para almejar o seu próprio objetivo e excluindo tudo que não convém.

Nesta perspectiva, compreende-se de que forma o laboratório é o lugar privilegiado da ciência fundamental, já que é justamente um local estruturado para filtrar o “mundo exterior” de maneira a que intervenham na prática científica apenas os elementos que se pode analisar no âmbito de um paradigma. O que faz com que um laboratório seja um laboratório é a eliminação de pressões que não se adequam ao paradigma: pressões econômicas, culturais, psicológicas, fisiológicas, etc. [...] (Fourez, 1995, p. 200).

Durante toda a NHI, é abordado o papel de repetir experimentos, buscar soluções com base em informações disponíveis, além de trazer a questão do erro quando primeiro pensa-se que houve a coleta de ar comum e não de uma nova forma de ar, que viria a ser conhecido como gás oxigênio. Prado e Carneiro (2018) afirmam a necessidade de suscitar discussões que envolvam os experimentos no processo de produção do conhecimento científico, não sendo somente utilizados para demonstrações ou verificações. Ainda Azevedo e Del Corso (2017) reforçam que os estudos laboratoriais não existem de forma isolada, por isso

[...] é relevante que o professor estimule a discussão do papel da complementação entre os estudos laboratoriais e os estudos de campo, a fim de evidenciar que há uma variedade de métodos na ciência (e não um método único) e que esses podem ser complementares, corroborando, de diversas formas, as mesmas fontes de evidência. Sobre isso, é válido conduzir uma discussão sobre as diferenças entre os estudos de campo e os laboratoriais, de forma que os estudantes possam compreender como as maneiras distintas de fazer ciência podem ser complementares, contrapondo uma visão comum de que há apenas uma forma de investigação científica possível (Azevedo; Del Corso, 2017, p. 165).

Nas questões para pensar, podem ser observados os recortes necessários pela escolha das técnicas e informações que os estudantes consideram relevantes para o estudo; além disso, pode-se discutir como a confiabilidade na comunidade científica pode estar associada ao controle do experimento. Por exemplo, em

perguntas sobre como ter certeza se algo está correto nos termos da comunidade, pode-se ter como um critério se as variáveis do experimento foram controladas da forma como deveriam para alcançar resultados coerentes e válidos com as teorias.

Dessa forma, as QPs permitem que os estudantes se aproximem do fazer ciência o suficiente para que, com auxílio do professor, possam reconhecer que os conhecimentos científicos produzidos sobre o mundo não refletem a verdade absoluta, ou são consequência de um fato; pelo contrário, são ativamente construídos pelos pesquisadores em seus estudos especialmente controlados. Esse discernimento é essencial para reconhecer a ciência como uma construção humana que não é superior, mas que mantém um estudo sistemático para produzir conhecimento.

Padrões de raciocínio

A dimensão padrão de raciocínio está presente nas questões para pensar 1, 6, 7, 8, 9, 10 e 11. Essa dimensão está associada aos processos da atividade científica que se referem ao raciocínio científico envolvido na construção de uma explicação para um fenômeno – o discernimento da relevância de evidências, a verificação das informações, etc – sendo por isso muito necessária para trazer à tona o “fazer ciência” proposto por Allchin (2011, 2014, 2017a, 2017b).

Por meio da NHI, o professor pode auxiliar os estudantes em uma reflexão das diferentes formas que os padrões de raciocínio se tornam presentes na atividade científica. Em QP1, a relevância das evidências e a observação de explicações e ideias alternativas são dados importantes para definir um caminho para a pesquisa que seja coerente com o contexto vivenciado pela comunidade científica. Já nas outras QPs, o padrão de raciocínio é analisado como um critério de confiabilidade do conhecimento científico, sendo a verificação das informações necessárias para que aquela ideia possa ser considerada válida no meio científico. Ainda, em QP11, pode-se aprofundar ainda mais observando como as evidências relevantes em diferentes explicações estão associadas ao contexto histórico e sociocultural que é refletido na produção de conhecimento científico – é possível observar que as evidências e explicações associadas à teoria do flogisto são diferentes daquelas que se espera quando se usa a teoria do calórico, por exemplo.

Além disso, trabalhar essa percepção é essencial para que os indivíduos sejam capazes de argumentar de forma coerente e com base no seu conhecimento

da ciência em uma sociedade em que a forma como se justifica a veracidade de uma informação é afetada por opiniões e “achismos” que podem trazer sérias consequências para a população – como foi observado amplamente com o movimento antivacina durante a pandemia de covid-19. Com essa habilidade, a confiança que um indivíduo deposita em uma informação tem por base a verificação de informações, a relevância das evidências, a coerência das informações, a credibilidade, etc.

[...] o que importa para a alfabetização científica funcional (o “porquê” final da NdC) não é qualquer definição formal de ciência, mas a confiabilidade das afirmações. Assim, qualquer conclusão pseudocientífica ou outra conclusão questionável exibirá inevitavelmente alguma falha na justificação epistêmica, mesmo que enquadrada em termos científicos (Allchin, 2017a, p. 22, tradução da autora).

Dimensão histórica

A dimensão histórica foi suscitada nas questões para pensar 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 11. Alguns pontos presentes nesta dimensão estão relacionados com discussões presentes em outras dimensões, todavia abordar mais especificamente sobre alguns aspectos permite que uma diferente perspectiva seja formada, a qual oportuniza que o falar sobre ciência considere os processos da atividade científica e influências que eles sofrem dentro do contexto sócio-histórico e cultural.

Nesse sentido, o principal tema a ser debatido é como as teorias e ideias que se estabelecem em um contexto não são as mesmas em outro contexto, de modo que todo o conhecimento produzido tem coerência com o que é aceito naquele momento e mudanças conceituais podem acontecer devido às mudanças na própria cultura, economia, sociedade, etc.

A ideia de verdade científica absoluta oculta o papel dessa contextualização e o processo de construção da ciência, que passa por diferentes fases em diferentes contextos. Tal ideia influencia na visão que é propaganda de ciência, que pode ser compreendida como algo superior que está além do tempo e espaço e que existe além dos limites humanos, sendo uma compreensão oposta a todo o processo humano e histórico que permite a existência da ciência. Nesse sentido, Fourez (1997) considera que

Uma sólida formação em epistemologia no quadro de uma filosofia coerente de “formação social da ciência”, mostrando que a conceitualização científica

deriva sempre de um contexto, e que os modelos teóricos alcançam a sua validade a partir da capacidade que conferem de representar esse contexto de uma forma adequada e relevante forma, em relação a projetos de ação e/ou comunicação (Fourez, 1997, p. 926).

Dessa forma, a NHI tem por objetivo que o aluno possa acompanhar e se aproximar da vivência de passar por essas mudanças de contexto e consequentes alterações na comunidade científica e na produção de conhecimento científico. Como Fourez (1995) aponta, “quando uma teoria científica é finalmente aceita, tem-se a tendência a dizer que ela é e sempre foi racional” (Fourez, 1995, p. 85), o que pode ser uma ideia generalizada para a teoria do oxigênio.

A noção de que o gás oxigênio existe e é essencial para uma reação de combustão é muitas vezes pensada e ensinada como um fato aceito como real desde o princípio; todavia, observa-se historicamente que por muito tempo a própria ideia de gás era algo totalmente impensável no mundo natural.

Da mesma forma, a teoria do flogisto parece desprovida de racionalidade quando é analisada pelo viés do pensamento moderno, porém era um conhecimento de grande importância que guiou as próprias observações e estudos por um longo período – é necessário lembrar que a observação não é neutra, partindo sempre das concepções aceitas pelo indivíduo que observa.

Prado e Carneiro (2018) demonstram na sua contextualização do episódio do flogisto como aspectos sócio-históricos e culturais “provocaram uma mudança de pensamento do homem em relação a natureza, o homem foi transformado em um observador ou manipulador do gigantesco mecanismo do universo de maneira que a mística e a magia da alquimia foram abandonadas” (Prado; Carneiro, 2024, p. 171). Tais aspectos foram determinantes para os processos que levaram ao estabelecimento da Química como ciência, que abraçaram o pensamento mecanicista e culminaram na ruptura com ideias de essência alquímica.

Por meio das QPs, o papel do docente é auxiliar na reflexão sobre esta visão histórica, que permite compreender a maneira como as estruturas de conhecimento da ciência, como a química, física e biologia, se desenvolveram condicionadas a contextos históricos que lhes davam sentido por influenciarem nos projetos idealizados pela comunidade científica (Fourez, 1995).

As discussões propostas abordam como o erro, a incerteza e o *status* provisório de teorias rondavam toda a produção de conhecimento científico, bem

como abordam o condicionamento histórico dos critérios de coerência e confiabilidade. Logo,

as situações de investigação permitem aos alunos experimentar pessoalmente como as afirmações sobre a natureza são ativamente “construídas” pelos investigadores e não aparecem simplesmente como consequências passivas de qualquer evidência que esteja disponível (Allchin, 2014, p. 468, tradução da autora).

A teoria do flogisto era amplamente aceita em *status* provisório apesar de sua incerteza para explicações acerca do ganho de peso em certas calcinações. E quando outra teoria passa a ser o fundamento da atividade científica, como foi o caso do oxigênio, existem consequências que moldam todas as estruturas da ciência. Os cientistas que não concordavam e não utilizavam dessa teoria tinham seus trabalhos esquecidos e não divulgados, mesmo que fossem indivíduos de grande importância anteriormente – como observado com muitas pesquisas de Priestley após as demonstrações de Lavoisier.

São essas reflexões que permeiam a dimensão histórica e que fazem parte da discussão principal da NHI, a fim de que a compreensão de uma ciência historicamente construída possa ajudar o estudante a desenvolver habilidades que lhe permitam fazer análises e tomar decisões bem informadas.

Dimensão humana

A dimensão humana não é tratada de forma direta nas QPs, apesar de ser apresentada no decorrer da NHI, estando de forma implícita em QP1 e QP8. Os pontos que se buscam enfatizar trata-se de como o ser humano que exerce a atividade científica tem influência nela e tem seus próprios desejos, motivações, projetos – que podem ser influenciados ainda por outros aspectos – e sua própria personalidade.

Gomes e Silva (2017) demonstram como os interesses são determinantes para os projetos de pesquisa por meio do episódio histórico que exploram, destacando como o geneticista ucraniano-estadunidense Theodosius Dobzhansky estava interessado em estudar a biodiversidade tropical no Brasil, enquanto, André Dreyfus, um professor da universidade, estava mais interessado no seu papel administrativo na Universidade de São Paulo (USP) do que na oportunidade de atuar

na pesquisa laboratorial; ainda assim, ambos foram peças essenciais para os estudos sobre genética no Brasil.

Tais reflexões são cruciais para a alfabetização científica por proporcionar a visão da ciência construída e permitir que o indivíduo enxergue a ciência como suscetível a erros, uma vez que os conhecimentos científicos

[...] muitas vezes são apresentados sem mencionar por que alguns cientistas acharam interessante e proveitoso desenvolver essas representações específicas em vez de outras. As escolhas - conscientes e inconscientes - inerentes à prática científica, bem como a formação social do conhecimento científico, são ocultadas, induzindo-se assim a acreditar que a forma como os cientistas vêem o mundo é a única possível (Fourez, 1997, p. 909).

Durante a NHI, menciona-se um pouco sobre como Priestley toma a decisão pessoal de trabalhar com Lorde Shelburne para ter recursos para financiamento da pesquisa, além de como a discordância de Lavoisier com a teoria do flogisto foi uma motivação para sua busca por uma nova teoria. Ainda, pode-se mencionar como a personalidade famosa que Lavoisier era, suas relações pessoais e outros também influenciaram na aceitação de suas ideias.

Em QP1, características associadas ao pessoal do indivíduo podem influenciar no caminho tomado na pesquisa, enquanto em QP8 o olhar é voltado para como essas características podem influenciar em aceitação de teoria, em debates na comunidade científica e outros.

Todavia, esses aspectos são destinados a serem debatidos por meio do auxílio do professor, que pode trazer questões mediadoras que levantam essas reflexões e também enfatizar esses pontos em uma síntese com maior aprofundamento do que aquele proporcionado pela NHI em suas limitações de tempo e espaço.

É preciso destacar a importância dessas discussões para o reconhecimento do papel principal que é o do cientista na produção e uso do conhecimento científico. A ciência não se desenvolve por pura si própria, são os cientistas e seus interesses que formam projetos de pesquisa, que trabalham, que discutem, que buscam financiamentos, que trazem evidências, que fazem reivindicações, que divulgam, que permitem a existência do conhecimento científico e seus impactos em âmbitos sociais, culturais, econômicos, políticos, militares e outros.

Ainda, essas discussões são necessárias pois “esse apagamento do sujeito (ao mesmo tempo individual e social, empírico e transcendental ou científico) não é inocente. Obliterando-o obtém-se a imagem de uma objetividade absoluta, independente de qualquer projeto humano” (Fourez, 1995, p. 52).

Dimensão sociocultural

A dimensão sociocultural foi suscitada nas questões para pensar 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10 e 11. A discussão desta dimensão na NHI tem por foco o papel do contexto sociocultural em estruturar a ciência (Allchin, 2017a); porém, é possível também levantar alguns pontos de reflexão sobre o papel dos preconceitos durante a síntese, na qual o docente pode questionar como a credibilidade de Lavoisier foi elevada por ser um homem de grande poder econômico e influência e como suas ideias seriam recebidas se não apresentasse essas características – se fosse mulher ou de classe social baixa, por exemplo.

Assim, se buscaria simultaneamente promover a justiça social ao reconhecer tais contribuições, mas também expandir a narrativa sobre a construção da ciência, desafiando a ideia de cientistas como gênios isolados, mas indo além, ao reconhecer papéis que, de tanto serem forçados a um lugar subalterno, acabaram por ter sua contribuição relegada a um plano de menor importância para a produção do conhecimento (Moura, 2021, p. 1173).

Almeida e Justi (2019) abordam de forma melhor o papel dos preconceitos e como foram determinantes no percurso trilhado por Marie Curie para iniciar seus estudos na universidade e alcançar o reconhecimento merecido em sua carreira, destacando como muitas vezes Pierre foi a voz e face de uma pesquisa que era primordialmente de sua esposa – sendo ele mesmo quem primeiro recebeu indicação ao prêmio Nobel pela descoberta da radioatividade.

Na perspectiva que é enfatizada na NHI aqui desenvolvida, as QPs buscam promover a reflexão sobre como os aspectos da confiabilidade, os processos da atividade científica em termos de experiências e explicações de fenômenos, as interações entre os cientistas se fundamentam na cultura científica estabelecida naquele momento.

O próprio uso da teoria do flogisto tem por base a sua ampla aceitação e divulgação na comunidade científica, sendo um ponto central nas tomadas de decisões sobre o que fazer e como fazer na pesquisa. Priestley persistiu tanto na

teoria do flogisto porque esta já fazia parte da cultura e formação científica que lhe foi apresentada e da qual se apropriou durante a vida. Como afirma Fourez (1995), “no campo do conhecimento, não podemos perceber mais do que o mundo já estruturado por nossa sensibilidade, nossos conceitos, nossa cultura, etc” (Fourez, 1995, p. 257).

Ainda, existe a potencial reflexão de como acontece a rejeição das ideias que não condizem com o contexto estabelecido, como é observado com a teoria do flogisto quando cai em desuso e passa a ser rejeitada, somente tendo voz e reconhecimento as pesquisas que tinham coerência com um novo corpo de conhecimento, o qual se fundamentava na teoria do gás oxigênio e sua participação na combustão de materiais. O cientista precisa estar inserido na comunidade científica no sentido de compartilhar de suas ideias, objetivos, e, principalmente, sua visão de mundo organizada e admitida; caso contrário está fora dessa instituição social e pode até ser considerado “louco” (Fourez, 1995).

Pode-se colocar, como objetivo principal, a compreensão do papel do contexto sociocultural para a construção das estruturas científicas, estando presente desde o momento da concepção de um experimento, de uma hipótese, de uma teoria; isso porque definem o que são cada objeto, o que pode ou não ser pesquisado com aprovação, o que é rejeitado, quais ideias não são condizentes com as regras estabelecidas – mais uma vez, esse quadro reafirma a inexistência de neutralidade na atividade científica. Desde QP1, quando se propõe o desenho de uma pesquisa, as influências socioculturais já são expostas em cada escolha, uma vez que

em torno e na base de cada disciplina científica, existe um certo número de regras, princípios, estruturas mentais, instrumentos, normas culturais e/ou práticas, que organizam o mundo antes de seu estudo aprofundado (Fourez, 1995, p. 105).

Em suma, reconhecer a dimensão sociocultural potencializa a visão da ciência construída, além de viabilizar que o indivíduo reconheça as influências do ambiente e suas regras na produção do conhecimento científico ao longo da história e no seu cotidiano, tornando-se mais apto a fazer uma análise bem informada que não está cega aos aspectos que são geralmente ocultos na atividade científica.

Interações entre cientistas

A dimensão interações entre cientistas está presente nas questões para pensar 5, 8, 9 e 10, nas quais busca-se abordar sobre as colaborações e competições, a credibilidade conquistada e disputada, além do processo de convencimento e persuasão da comunidade que um cientista precisa fazer.

Durante a NHI, enfatiza-se bastante como a colaboração é um fator essencial para a produção de conhecimento, seja pelo contato com trabalhos de colegas ou mesmo por meio de colaborações diretas, trocas de mensagens, trocas de materiais, reuniões e debates. Como é observado na busca constante por material realizada pelo personagem e a base teórica definida para a pesquisa realizada por Priestley.

No entanto, também é apontada a competição que existe entre cientistas que apresentam ideias opostas quando Lavoisier passa a expor seus estudos. Nesse ponto, é evidenciado como o trabalho de persuasão faz parte dos aspectos considerados para a aceitação de uma teoria, uma vez que Lavoisier continuou a pensar em demonstrações que pudessem trazer mais adeptos às ideias que apresentava. Conforme Fourez (1995),

[...] a maneira pela qual os especialistas põem-se de acordo tem mais a ver com a lógica de uma negociação sociopolítica do que com um âmbito bem definido de racionalidade. Ainda nesse caso, as decisões não são tomadas em função de um saber que determina tudo de maneira neutra, mas em função de outros critérios bem mais pragmáticos (Fourez, 1995, p. 213).

Nessa perspectiva, o professor pode adicionar a seguinte reflexão no momento da síntese: será que todos aderiram à teoria do oxigênio porque enxergavam nela uma coerência fundamental ou muitos passaram a trabalhar com essa teoria para permanecer inserido na comunidade científica, a qual exige uma concordância de ideias?

Como é observado na NHI, aqueles que não se tornaram adeptos da nova teoria, foram testemunhas da rejeição de suas ideias que utilizavam da teoria do flogisto, ficando cada vez mais excluídos da comunidade científica.

Pode-se pensar na própria credibilidade associada à teoria: as interações e relações assumidas por Lavoisier com seus pares não incentivaram na aceitação de suas ideias? A presença social de um cientista e suas parcerias também influenciam

nas negociações acerca do conhecimento científico, seja em sua produção, divulgação ou defesa.

Além disso, o docente pode trabalhar na síntese a própria forma como é dada credibilidade suscitando um debate ainda vivo sobre a quem pertence o crédito pela descoberta do gás oxigênio e como a imagem de Lavoisier se mantém acima na visão da comunidade do que as imagens de Priestley e Cavendish. Prado e Carneiro (2018) discutem justamente a importância de contextualizar o trabalho de Lavoisier para fomentar a perspectiva da ciência construída coletivamente e desencorajar a visão de continuidade histórica muitas vezes propagada e que é favorecida pelas glórias dadas a este cientista.

Almeida e Justi (2019) apontam, por meio do episódio histórico sobre Marie Curie, como o apoio e reconhecimento de Pierre foi um fator decisivo para que sua esposa conseguisse avançar entre os pares em meio ao preconceito sofrido por seu gênero nas ciências. Da mesma forma, Vasconcelos e Forato (2018) apontam como a comunidade científica é envolvida diretamente na construção do conhecimento, tornando-o coletivo, ao apresentar o caso dos estudos de Niels Bohr e como existe oposição mesmo entre uma maioria que já aderira e pesquisava sobre as hipóteses de Bohr. Já Gomes e Silva (2017) demonstram em seus estudos como as interações entre cientistas não se resumem somente a processos de atividade científica como experimentos e recursos de laboratório, nem mesmo somente em relação ao investimento; as negociações entre os pares da ciência constroem reputações, desenvolvem institutos de pesquisa, contribuem para o crescimento de universidades, e muitos outros fatores que permitem a existência da ciência.

A consciência das negociações que estão no centro da atividade científica e que moldam estruturas da ciência corrobora para o desenvolvimento da autonomia, um dos objetivos da alfabetização científica, no sentido de permitir o aprendizado de como negociar com esses especialistas e acerca de temas que normalmente lhes seriam de competência exclusiva (Fourez, 1997).

Logo, existe uma redução da dependência de especialistas e retira o poder dominante exercido pela tecnocracia. Não significa que o indivíduo se tornará um especialista para que seja capaz de negociar, mas que terá aptidão para utilizar seu conhecimento para negociar e participar ativamente de debates de importância social – por exemplo, acerca do direito à medicação, acerca de atividades poluidoras, entre outros.

Economia e Instrumentação

A dimensão economia foi abordada de forma mais específica em QP2, enquanto a dimensão instrumentação foi suscitada nas questões para pensar 1, 2, 3 e 7. Ambas as dimensões estão associadas a recursos, financeiros e materiais, necessários ao desenvolvimento de uma pesquisa, por isso foram discutidas em conjunto. Conforme afirma Fourez (1995), “a comunidade científica se estrutura parcialmente, como vimos, por interesses determinados pelas organizações sociais às quais ela se alia, e pelas estruturas econômicas necessárias a seu funcionamento” (Fourez, 1995, p. 99).

Os instrumentos e seu papel crucial na experimentação são um tema despertado ao longo de toda a NHI, uma vez que desde o princípio aponta-se como o equipamento que permitiu isolar gases foi um ponto de partida principal para a química pneumática.

A reflexão sobre como os equipamentos estão entrelaçados à atividade científica já é apontada no início da NHI, quando é oportunizada a reflexão sobre quais equipamentos seriam necessários para o estudo a ser realizado em QP1; mas também sobre como o uso de bons instrumentos pode ser crucial para a realização de testes determinantes para a credibilidade e continuidade da pesquisa, como observa-se em QP3. É possível pensar sobre como alguns resultados experimentais ou estudos científicos podem estar fora de alcance para alguns grupos por apresentarem como um requisito instrumentos caros (Allchin, 2017b).

Apesar de não fazer parte da NHI a forma como a comunidade científica busca aliados e como os interesses econômicos influenciam na estrutura da ciência, o docente pode acrescentar um pouco sobre como o olhar de Priestley se volta inicialmente para o estudo de gases, o que se dá, como demonstra Martins (2009), pelo seu interesse pela água de *Pymont* (água mineral originada pela adição de gás carbônico, conhecido como ar fixo, à água). Dessa forma, pode-se observar um pouco de como a economia também está refletida na atividade científica e sua produção de conhecimento; todavia, como mencionado, essa dimensão não foi tão aprofundada neste sentido.

Os aspectos econômicos suscitados na NHI se referem ao investimento necessário ao desenvolvimento da ciência e sobre como a atividade científica

precisa de certos recursos materiais e humanos, como equipes, equipamentos, acesso à bibliotecas e trabalhos aceitos pela comunidade científica.

A importância do investimento já é apontada em QP2, quando Priestley precisa de um trabalho com Lorde Shelburne para conseguir os recursos financeiros de que necessitava para a sua pesquisa. Por outro lado, mais a frente na NHI, pode ser observado como Lavoisier tinha acesso a um laboratório de grande porte devido ao seu poder econômico e reconhecimento, fazendo com que seu trabalho fosse visto com bons olhos pela qualidade de seus recursos, não apenas pelo seu processo analítico sistemático. Segundo Bensaude-Vincent e Stengers (1996), Lavoisier utilizou sua própria riqueza para equipar seu laboratório, Priestley utilizou o laboratório oferecido por seu patrono, Lorde Shelburne, e Scheele foi um autodidata que não tinha vínculos profissionais e trabalhava na obscuridade; logo, essas diferentes situações econômicas são refletidas em suas pesquisas e também na carreira que constroem e reconhecimento que alcançam na comunidade científica.

Almeida e Justi (2019) apontaram também em seu trabalho com o episódio histórico sobre de Marie Curie, com nove licenciandos de Química, como essas reflexões são necessárias para reconhecer o papel do convencimento de colegas cientistas sobre a importância de uma pesquisa a fim de conseguir apoio e investimento em razão dos interesses econômicos despertados pelos frutos dos resultados do projeto.

A discussão acerca dos aspectos econômicos viabiliza a visão central da alfabetização científica: a ciência como uma construção humana e impactada por todos os âmbitos que compõem e estruturam a sociedade, e fazendo ela mesma parte da sociedade. O ponto de vista econômico é necessário para que o indivíduo seja capaz de fazer uma análise bem informada sobre como recursos são utilizados em universidades públicas, ou como são feitos investimentos governamentais em pesquisas, ou mesmo por qual motivo certas empresas têm ou não têm interesse no desenvolvimento de certa tecnologia ou conhecimento científico.

Comunicação do conhecimento

A dimensão comunicação do conhecimento está presente nas questões para pensar 5 e 9. O principal aspecto desta dimensão se refere à credibilidade e às normas para tratamento de dados científicos, que definem quais informações são relevantes e válidas, quais práticas experimentais são adequadas para pesquisar

certos dados, entre outros. Todas essas normas derivam da base teórica e da ideologia que fundamenta aquela forma de conhecimento.

Desse modo, enfatiza-se a discussão de aspectos do papel do conhecimento de como utilizar certos instrumentos e conduzir práticas experimentais, do conhecimento da base teórica e de dados e evidências relevantes frente ao corpo de saberes da ciência, e de estar atualizado sobre tudo isso.

Nesse sentido, em QP5, quando se questiona sobre a importância do acesso ao trabalho de outros cientistas e da influência dos mesmos, busca-se também promover a reflexão sobre a credibilidade daqueles estudiosos devido às suas contribuições para a base teórica da ciência e para às normas, uma vez que desenvolveram experimentos e conceitos amplamente replicados.

No caso, os estudos de Cavendish, por exemplo, estabeleceram as formas de caracterizar e obter ar inflamável, além de vários outros gases em decorrência da continuidade de suas pesquisas.

Já em QP9, a discussão das normas está muito associada à ideologia, às ideias e concepções que vão definir como a comunidade científica decide qual teoria tem mais credibilidade e está mais coerente em relação ao corpo de conhecimento e ao desenvolvimento da ciência que desejam produzir. Essa reflexão permite questionar que tipo de coerência estava sendo buscada na escolha das teorias, uma vez que a ciência é produzida dentro de um contexto sócio histórico que favorece certas ideias. Ainda pode-se pensar sobre qual seria o motivo para que esse contexto não seja explicitado, uma vez que os conceitos científicos se apresentam de forma linear e absoluta.

As normas aceitas pelo paradigma e a ilusão de que se busca uma verdade científica absoluta fazem as pessoas esquecerem que conceituar, construir modelos e construir teorias se dá dentro de um contexto, nunca em 'espaço absoluto'. [...] Uma vez que este último está bem estabelecido, as pessoas - incluindo os cientistas - esquecem a especificidade do ambiente que moldou as normas disciplinares. As questões científicas, e as formas como são tratadas, são tidas como certas, e não são vistas como o resultado histórico de negociações que dão à ciência seu quadro histórico (Fourez, 1997, p. 923).

Esses temas são necessários para melhor compreender a natureza da ciência e de sua atividade quanto às regras que a conduzem e quanto à influência da credibilidade. Além disso, permite que o cidadão tenha entendimento de como o corpo de conhecimento é utilizado para construir e corroborar com uma visão de

mundo (Fourez, 1997) e tenha capacidade de questionar e comunicar suas opiniões. Segundo Marko e Pataca (2019):

Pela historiografia, nota-se o processo em que a ideia de que o conhecimento científico deve traduzir uma verdade sobre a natureza vai aos poucos sendo modificada, chegando à noção de que se trata de uma leitura interessada, e não neutra, da realidade. Assim, adquire o caráter de credibilidade, legitimidade, e não mais os atributos de verdadeiro, dogmático e único. Isso se dá justamente pelo entrelaçamento dos aspectos: pelas imbricações entre as esferas social e científica, somado à questão das disputas e controvérsias, o conhecimento científico é produto de investigações vitoriosas, algo em que os homens creem com confiança, o que não significa que seja uma proposição verdadeira, mas uma leitura parcial da realidade legitimada por especialistas e seu entorno, de acordo com seus interesses (Marko; Pataca, 2019, p. 13).

Apontamentos gerais

Como mencionado, a estrutura da NHI sofre certas limitações em termos de como trabalha e aprofunda cada dimensão. Todavia, segundo Azevedo e Del Corso (2017), “cabe ao professor apresentar e conduzir a discussão dos aspectos apresentados em cada parte de modo explícito, para melhor compreensão dos estudantes” (Azevedo; Del Corso, 2017, p. 155). Logo, o docente, como narrador e o responsável por conduzir a NHI, tem a liberdade de se prolongar ou não em uma questão para pensar, fazer adaptações de dividir o conteúdo do material para se adequar ao seu tempo com a turma e o contexto de ensino e aprendizagem, dividir a turma em grupos ou não para as discussões sobre as questões para pensar, entre outras decisões que sejam melhores para contribuir com a alfabetização científica.

Como observado por Allchin (2014), “[...] o papel do professor também é indispensável. Em qualquer ambiente de aprendizagem, eles inevitavelmente fornecem alguma estrutura e orientação externa’ (Allchin, 2014, p. 467). Essa orientação é crucial “pois, embora um caso traga diferentes aspectos da NdC, isso não quer dizer que os alunos sejam capazes de reconhecê-los como elementos importantes sem que haja um direcionamento para tal” (Rici; Teixeira; Oliveira, 2017, p. 73).

De qualquer forma, a abordagem HFSC contribui para evitar o desenvolvimento de uma visão deformada sobre o processo histórico dos conhecimentos científicos, que é entendido de forma linear e não como uma complexa argumentação, refutação, convencimento e investigação teórica e experimental.

De acordo com Cachapuz, et al (2005), são propagadas visões inadequadas da ciência que estão muito distantes de sua verdadeira natureza, tratando-a como construída por gênios, sem influência de fatores externos, sendo aceita como absoluta verdade e desconsiderando tanto o valor da argumentação e da investigação de problemas pré-estabelecidos na atividade científica quanto processos históricos que possibilitaram o desenvolvimento do conhecimento científico. Ainda que não exista uma única visão da ciência, um modelo perfeito a ser seguido, pode-se traçar uma linha que impossibilite apresentar como fatos, concepções que são contrárias à sua essência.

É possível observar como as discussões sobre aspectos da natureza da ciência presente em cada dimensão corroboram para a construção de uma visão – considerada mais apropriada – de que a ciência é uma construção humana. Discutir a história da ciência traz o processo de ensino e aprendizagem mais próxima da natureza da atividade científica, desmistifica a imagem da ciência absoluta e verdadeira, contribui para a formação de um pensamento crítico, traz a visão da complexidade da construção do conhecimento. Numa visão contemporânea, destacam-se as palavras de Fourez (1995):

A fim de produzir resultados científicos, é preciso também possuir recursos, acesso às revistas, às bibliotecas, a congressos etc. É preciso também que, nas unidades de pesquisa, a comunicação, o diálogo e a crítica circulem. O método de produção da ciência passa, portanto, pelos processos sociais que permitem a constituição de equipes estáveis e eficazes: subsídios, contratos, alianças sociopolíticas, gestão de equipes etc. Mais uma vez, a ciência aparece como um processo humano, feito por humanos, para humanos e com humanos (Fourez, 1995, p. 95).

A pouca participação dos estudantes, além de impactar no interesse dos mesmos pelas ciências, impossibilita o desenvolvimento de competências necessárias para interpretação do mundo a partir da ciência, para aflorar a capacidade de fazer decisões críticas fundamentadas em seus conhecimentos e na pouca ou nenhuma compreensão dos conceitos que objetivasse ensinar.

Nesse sentido, abordagem promovida pela NHI, mesmo que envolva um outro contexto histórico, viabiliza o reconhecimento dos processos complexos e dinâmicos que fazem parte da própria existência da ciência, e oportuniza o desenvolvimento da habilidade de reconhecer aspectos que precisam fazer parte de uma análise bem informada devido aos seus impactos sociais, econômicos,

ambientais ou outros. Todo o percurso apresentado na NHI permite aproximar do “fazer ciência” como defendido por Allchin (2017b) e traz a compreensão da construção da ciência em concordância com condições sociais, culturais e econômicas de um determinado contexto.

Na literatura, é reconhecida a necessidade e a importância das discussões de cunho histórico para evitar concepções inadequadas sobre ciência (Prado; Carneiro, 2018), mas também formar ideias mais apropriadas, que permitam o pensamento reflexivo, a análise crítica, a tomada de decisões conscientes. Todavia, ainda são poucos os materiais identificados que possam contribuir para o trabalho docente de trazer tais discussões para os estudantes, destacando ainda mais a demanda por recursos como o que foi pensado e desenvolvido neste projeto.

Considerando os apontamentos de Rodrigues, Júnior e Oliveira (2020) sobre materiais adequados para tratar da história da ciência, a NHI proposta está em concordância visto que não trata do tema como anedotas ou curiosidades; tenta promover o uso do olhar do contexto sócio-histórico e cultural em que se encontra o caso, evitando julgamento com base no pensamento contemporâneo; e busca não difundir visões deformadas da ciência (descritas por Cachapuz *et al.* (2005)).

Ainda que seja voltada para a Química, pode-se assumir também que contempla-se a preocupação de Marko e Pataca (2019) em relação a discussão da história da ciência em cursos de Pedagogia, também muito associado e importante para o Ensino de Ciências, uma vez que o material pensado envolve diferentes oportunidades de aprofundamento pelo professor universitário que têm por objetivo maior a reflexão sobre a ciência como uma construção, de modo que pode oportunizar esse processo para não químicos também, tanto na formação inicial quanto na formação continuada.

É possível destacar também com base nas discussões de Marko e Pataca (2019), como esse material pode inspirar outros professores e pesquisadores a desenvolver recursos, para trabalhar em sala de aula, que envolvem a história da ciência, voltando-se para a demanda acima descrita, assim como para a importância do tema. Além disso, como defendem Guimarães e Castro (2021), a proposta pode ser trabalhada em conjunto com outras abordagens que o docente achar pertinente, considerando, por exemplo, a apresentação da biografia dos cientistas para aprofundar a dimensão humana, ou o uso de mais recursos digitais, imagens ou

filmes para ilustrar, comparar e refletir sobre o contexto sócio-histórico e as mudanças que ocorreram.

Em suma, o recurso busca fomentar reflexões sobre um tópico essencial quando se trata da história da ciência: o reconhecimento da ciência humana retira certos véus que impedem que ela seja discutida na sociedade, tornando possível que os indivíduos se apropriem de certos conhecimentos para tomadas de decisões mais conscientes em suas questões cotidianas e de âmbitos maiores. E é disto que se trata em essência a alfabetização científica: “promover a democracia, dando às pessoas conhecimento suficiente sobre ciência e tecnologia para encorajar o debate público e evitar abandonar as decisões públicas para tecnocratas” (Fourez, 1997, p. 904).

CONCLUSÕES

Deve-se, primeiramente, destacar que o objetivo aqui almejado foi refletir sobre as potencialidades de uma NHI abordando a ruptura da teoria do flogisto para promover a alfabetização científica. Busca-se contribuir para a compreensão da ciência como construção humana e histórica, por meio da discussão de aspectos da natureza da ciência que viabilizam a alfabetização científica.

O foco principal da alfabetização científica e tecnológica é a formação de um indivíduo capaz de se comunicar e negociar decisões que envolvem aspectos da ciência e tecnologia. Para tanto, é preciso viabilizar a familiaridade com alguns termos científicos comuns, com o processo sistemático da atividade científica, das relações entre ciência e diferentes âmbitos que compõem a sociedade (como política, economia, ambiente e outros). Todavia, ao refletir sobre as discussões que permitem essa aproximação não encontram lugar na intensa e rápida transmissão de conhecimentos que permeia o processo de ensino e aprendizagem nos diferentes níveis, favorecendo conceitos e não reflexões cruciais sobre o mundo e a atuação cidadã nele. Desse modo, a ciência não era percebida como uma atividade de construção humana, sendo descontextualizada de seu contexto sócio-histórico e cultural, e somente percebida por experimentos em laboratórios de forma neutra e objetiva, sem elucidar as teorias e interesses que baseiam toda a observação e investigação de um projeto, entre outros equívocos.

Nesse sentido, torna-se primordial conceber um ensino de ciências que destaca os debates e reflexões necessários para compreensão da natureza da ciência ou, pelo menos, a construção de uma visão mais adequada sobre a ciência. Entender melhor o processo que confere confiabilidade na atividade científica contribui para que o indivíduo tenha a habilidade de realizar uma análise bem informada de diferentes casos em seu cotidiano.

Trabalhar um caso histórico potencializa essas reflexões por acompanhar todo o processo e aspectos envolvidos na produção de conhecimento até que tenha alcançado a credibilidade observada na atualidade, desde as ideias, teorias, interesses que inspiraram o projeto até as competições e colaborações que envolveram a pesquisa.

A narrativa histórico-investigativa (NHI) é uma forma de abordar o caso histórico envolvendo ativamente o estudante por meio das pausas para reflexões, aproximando-se do que foi vivenciado pelo cientista, que é personagem do caso,

com dúvidas e incertezas, com o processo para busca de soluções, os erros, as decisões, entre outros aspectos do fazer ciência.

Consoante a isso, a narrativa histórica-investigativa “Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio” foi proposta como um recurso para potencializar a alfabetização científica, atendendo a uma demanda ainda existente na literatura por materiais que corroborem para a abordagem adequada sobre história da ciência.

A NHI tem como contexto o processo de ruptura com a teoria do flogisto e, em essência, com os resquícios do conhecimento alquímico; e envolve o conflito de ideias que surge entre os trabalhos de Joseph Priestley e Antoine Laurent Lavoisier. Para apresentar maior liberdade criativa, o personagem acompanhado é fictício, denominado Thomas Smith, e atua como aprendiz e assistente de Priestley durante o período definido para o caso.

É preciso destacar que foram feitas escolhas para que a NHI pudesse ser construída dentro de um limite aceitável de tempo e conteúdo textual para ser trabalhado em sala de aula. Por exemplo, não houve um aprofundamento inicial no que instigou os estudos da química pneumática ou mesmo as pesquisas de Priestley e Lavoisier. É evidente, portanto, que o mesmo recorte histórico poderia oportunizar muitas outras reflexões, ou aprofundar temas que não foram enfatizados neste recurso. Todavia, as escolhas feitas buscaram ampliar a visão de mundo dos estudantes, promover a alfabetização científica no sentido de compreender que o corpo de conhecimentos existente poderia ser completamente diferente se escolhas diferentes, projetos e interesses diferentes tivessem sido atendidos anteriormente, ou mesmo se um único equipamento não tivesse sido criado, como é o caso dos aparelhos que permitiram o isolamento de gases.

Ainda assim, pode-se apontar que a NHI é longa e conta com questões de alto nível de abstração, além de leituras pouco usuais. Porém, entende-se que traz discussões cruciais a nível de Ensino Superior.

Enfatiza-se que a NHI é um recurso para o docente, sendo possível a articulação com outros materiais e sua inserção em diferentes abordagens. Logo, é viável que exista uma atividade ou leitura prévia promovida pelo professor para entender o que motivou a química pneumática antes de utilizar a NHI para focar na ruptura com a teoria do flogisto; ou mesmo utilizar materiais complementares, como textos, vídeos e imagens, no decorrer da abordagem para evidenciar aspectos mais

humanos dos cientistas. A autonomia do docente se faz válida na própria escolha de utilizar ou não as questões para pensar desenvolvidas. Em suma, o recurso é uma forma de motivar o professor a utilizar a história da ciência para oportunizar discussões sobre ciência e promover alfabetização científica, seja por meio de uma NHI ou com outras abordagens.

Apesar das limitações existentes ocasionadas tanto pelos recortes históricos necessários quanto pelas próprias características ainda não definidas sobre o uso deste recurso na literatura, constatou-se que a NHI tem um amplo potencial de abordar diferentes dimensões envolvidas na natureza da ciência e no processo da atividade científica.

As 11 questões para pensar propostas envolvem os estudantes em reflexões sobre a importância da comunicação entre cientistas, de estar atualizado sobre o conhecimento científico; o papel do acesso ao conhecimento sobre práticas experimentais e instrumentos; a importância de saber analisar a relevância de evidências; o papel da base teórica e o reconhecimento da credibilidade de uma informação; a influência econômica, política, sociocultural e outras na produção, comunicação e validação de conhecimento, entre outros.

Conseqüentemente, foram instigadas reflexões e discussões sobre a necessidade dos estudos sistemáticos e da obtenção de evidências de alta qualidade na pesquisa, sobre a confiabilidade de um estudo e os critérios utilizados pela comunidade científica para isso, sobre a inexistente neutralidade na observação científica, sobre a importância do acesso ao conhecimento produzido por outros cientistas, sobre como as teorias fundamentam os projetos de pesquisa, sobre as negociações envolvidas na comunidade científica e fora dela em relação ao apoio financeiro necessário para o desenvolvimento de pesquisas, sobre a influência do contexto sócio-histórico e cultural (considerando seus padrões sociais, suas regras, seu corpo de conhecimento, seus preconceitos e outros) na produção do conhecimento científico, entre outros aspectos.

Como oportunidades futuras, definitivamente é necessário pensar na aplicação da NHI e na observação e identificação de oportunidades de melhorias frente à realidade de um contexto de estudo a nível superior. Além disso, o recurso não só se enquadra na posição de atender à demanda por recursos que trabalham a história da ciência como instigar outros pesquisadores a se aventurarem a desenvolver uma narrativa histórica-investigativa e, até mesmo, os professores a

exercitarem a sua liberdade criativa, a sua pesquisa para utilizar o recurso de maneira mais adequada a sua realidade.

Dessa forma, é possível assumir a potencialidade do recurso para permitir as reflexões sobre natureza da ciência e promover a alfabetização científica, pois as concepções tratadas contribuem para o entendimento de que a ciência construída atualmente também segue um rumo segundo certos interesses e que é por meio da compreensão de aspectos da ciência e de sua atividade que se torna possível participar ativamente das decisões, lutar por direitos e exigir cumprimento de deveres para com a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ADMIRAL, T. D.; MACHADO, C. B. H.; CALDAS, R. L. Do conhecimento à prática: inserção da História da Ciência no Mestrado em Ensino de Física. **Com a Palavra, o Professor**, [S. l.], v. 4, n. 8, p. 16–34, 2019. DOI: <https://doi.org/10.23864/cpp.v4i1.383>. Disponível em: http://revista.geem.mat.br/index.php/_CPP/article/view/383. Acesso em: 29 jun. 2023.
- ALLCHIN, D. Beyond the Consensus View: Whole Science. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 17, n. 1, p. 18-26, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271921>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14926156.2016.1271921>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- ALLCHIN, D. Casos de investigação histórica para o aprendizado da natureza da ciência. **Cadernos de História da Ciência**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 101–126, 2017b. DOI: 10.47692/cadhistcienc.2017.v13.33802. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/cadernos/article/view/33802>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- ALLCHIN, D.; ANDERSEN, H. M.; NIELSEN, K. Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Contemporary Cases and Historical Cases in Classroom Practice. **Science Education**, v. 98, n. 3, p. 461-486, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21111>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/sce.21111>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- ALLCHIN, D. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/sce.20432>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- ALLCHIN, D. Historical Inquiry Cases for Teaching Nature of Science Analytical Skills. In: McCOMAS, W.F. (ed.). **Nature of Science in Science Instruction. Science: Philosophy, History and Education**. Berlim: Springer. 2020.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **Da Alquimia à química**: um estudo sobre a passagem do pensamento mágico-vitalista ao mecanicismo. São Paulo: Landy Editora, 2005.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é história da ciência**. 1. ed. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- ALMEIDA, M. D. S.; CANSAN, T. C. S.; OLIVEIRA, E. C. HISTÓRIA DA CIÊNCIA E ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA. **Signo**, Lajeado, ano 43, n. 2, p. 8-23, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0378.v43i2a2022.3071>. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/signos/article/view/3071/2026>. Acesso em: 22 maio. 2023.
- ALMEIDA, B. C.; JUSTI, R. O caso histórico Marie Curie: investigando o potencial da história da ciência para favorecer reflexões de professores em formação sobre

natureza da ciência. **Alexandria**, v. 12, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v12n1p351>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/1982-5153.2019v12n1p351>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ANDRADE, M. F. D.; SILVA, F. C. Destilação: uma sequência didática baseada na História da Ciência. **Quím. nova esc.**, v. 40, n. 2, p. 97-105, 2018. Disponível em: <http://qnesc.sbgq.org.br/edicao.php?idEdicao=74>. Acesso em: 12 nov. 2023.

AZEVEDO, N. H.; DEL CORSO, T. M. “A doença dos trabalhadores da estrada de ferro” : uma narrativa histórica e suas potencialidades para explorar aspectos de natureza da ciência. **Cadernos de História da Ciência**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 19–53, 2017. DOI: 10.47692/cadhiscie.2017.v13.33799. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/cadernos/article/view/33799>. Acesso em: 27 nov. 2023.

AZEVEDO, N. H.; DEL CORSO, T. M.; TRIVELATO, S. L. F. Robert Hooke e a pulga: um episódio histórico em sala de aula com o uso de desenhos e descrições como práticas epistêmicas. **Enseñanza de las ciencias**, Núm. Extra, 2017.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. Das origens. In: BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. **História da Química**. 1 ed. São Paulo: Instituto Piaget, 1996.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. **Histoire de la chimie**. 9 ed. Paris: ÉDITIONS LA DÉCOUVERTE, 1993.

BORGES, F.; MARIA SITKO, C.; VIRGINIA MAMCASZ VIGINHESKI, L.; DE CARVALHO RUTZ DA SILVA, S.; PAWLOWSKI, C. Construção de uma narrativa histórica para sala de aula: Eratóstenes, o cálculo da circunferência da Terra e o ensino de semelhança de triângulos. **REMAT: Revista Eletrônica da Matemática**, Bento Gonçalves, RS, v. 6, n. 2, p. e2011, 2020. DOI: 10.35819/remat2020v6i2id4282. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/REMAT/article/view/4282>. Acesso em: 27 nov. 2023.

BRÜSEKE, F. J. Mística, magia e técnica. **Política & Sociedade**, v. 3, nº 4, 2004. DOI: <https://doi.org/10.5007/%25x>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/politica/article/view/2005>. Acesso em: 03 dez. 2022.

CACHAPUZ, A.; et al. Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: Um requisito essencial para a renovação da educação científica. In: CACHAPUZ, A.; et al. **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. p. 37-70.

CARVALHO, A. M. P. O Ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org). **Ensino de Ciências por Investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013, p. 1-20.

CARVALHO, A. M. P. de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 765–794, 2018. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2018183765. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4852>. Acesso em: 18 jul. 2023.

CHASSOT, A. I. Alquimiando a Química. **Química Nova na Escola**, vol. 1, n. 1, 1995. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/edicao.php?idEdicao=49>. Acesso em: 28 nov. 2022.

COSTA, P. F. da. Simbologia e alegoria na linguagem alquímica. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, série II, n. 87, 2002. DOI: 10.52590/M3.P612.A30001088. Disponível em: <https://b-quimica.spq.pt/magazines/BSPQuimica/612/30001088>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CORRÊA, S. F.; MALAQUIAS, I. History of science and physics teaching through a comics workshop. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 13, p. e182111335230, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35230. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35230>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FERRARI, A. C.; PINHEIRO, E. B.; FARIA, F. L. de. Utilização de jogos educativos para a abordagem da História da Ciência: um estado da arte. **História da Ciência e Ensino**, v. 23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2021v23p131-148>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/view/54309>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FOUREZ, G. **A construção das ciências**: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Editora UNESP, 1995.

FOUREZ, G. Scientific and Technological Literacy as a Social Practice. **Social Studies of Science**, vol. 27, n. 6, pp. 903-936, 1997. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/28567>. Acesso em 01 maio 2023.

GANDRA, L. P.; SILVA, G. R. da. Modelagem e História da Ciência: uma abordagem pedagógica para a estrutura atômica no 9º Ano do Ensino Fundamental. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 18, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.11585>. Disponível em: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/view/11585>. Acesso em: 12 nov. 2023.

GOMES, F. de O.; SILVA, G. de M. A genética no Brasil entre 1934 e 1956: um estudo de caso histórico para o ensino de natureza da ciência. **Cadernos de História da Ciência**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 81–99, 2017. DOI: 10.47692/cadhisciecienc.2017.v13.33801. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/cadernos/article/view/33801>. Acesso em: 27 nov. 2023.

GOMES, F.; PROENÇA, A. O. História da ciência na introdução da química em livros didáticos - PNLDEM 2018. **Scientia Naturalis**, v. 1 n. 2, 2019: Edição XIX ENEQ -

Encontro Nacional de Ensino de Química. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2515>. Acesso em: 12 nov. 2023.

GUIMARÃES, L. P.; CASTRO, D. L. de. Como a história da ciência está na sala de aula? Uma revisão das estratégias didáticas: How is the history of science in the classroom? A review of didactic strategies employed . **Revista Cocar**, [S. l.], v. 15, n. 32, 2021. Disponível em: <http://periodicos.uepa.br/index.php/cocar/article/view/4392>. Acesso em: 12 nov. 2023.

GREENBERG, A. **Uma breve história da química** - da alquimia às ciências moleculares modernas. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

JOSEPH Priestley Experiment. [S.l.]: **Chary Digital**, 2020. 1 vídeo (1 min, 59 segs). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=19Es4knA7xA>. Acesso em: 25 jun. 2024.

LAVOISIER, A. L. **Traité Élémentaire de Chimie**. Paris: Gaspard-Joseph Cuchet, 1789.

MILARÉ, T.; RICHETTI, G. P. História e compreensões da Alfabetização científica e Tecnológica. In: MILARÉ, T.; RICHETTI, G. P.; LORENZETTI, L.; FILHO, J. P. A **Alfabetização Científica e Tecnológica na educação em Ciências: fundamentos e práticas**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2021.

MARKO, G.; PATACA, E. M. Concepções de ciência e educação: contribuições da história da ciência para a formação de professores. **Educ. Pesqui.**, v. 45, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-4634201945186743>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/gj7mNCT4XzdfvTRN8JkDrgc/#>. Acesso em: 12 nov. 2023.

MARTINS, R. de A. Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de “ares” e os seres vivos. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p. 167-208, 2009. Disponível em: <https://www.abfhib.org/revista/fhb-v04/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MOURA, C. B. Para que história da ciência no ensino? Algumas direções a partir de uma perspectiva sociopolítica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 4, n. 3, 2021. DOI: 10.5335/rbecm.v4i3.12900. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/12900>. Acesso em: 12 nov. 2023.

PRADO, L. P.; CARNEIRO, M. C. O episódio histórico das teorias do flogisto e calórico: criando interfaces entre a História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Química na busca pela humanização do trabalho científico. **História da Ciência e Ensino**, v. 18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2018v18p153-180>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/view/36818>. Acesso em: 12 nov. 2023.

PRIESTLEY, J. Observations on different kinds of air. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 62, p. 147-264, 1772. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstl.1772.0021>. Disponível em:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1772.0021>. Acesso em: 08 fev. 2023.

PRIESTLEY, J. **Experiments and observations on different kinds of air**. 3 vols. London: W. Bowyer and J. Nichols, 1774-1777.

RICCI, F. P.; TEIXEIRA, K. K. S.; OLIVEIRA, A. D. de. O estudo do caso histórico de Vital Brazil em sala de aula: uma ferramenta para investigar a visão dos alunos sobre os desafios enfrentados durante uma pesquisa científica. **Cadernos de História da Ciência**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 55–79, 2017. DOI: 10.47692/cadhistcienc.2017.v13.33805. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/cadernos/article/view/33805>. Acesso em: 27 nov. 2023.

RODRIGUES, G. M. de O.; JÚNIOR, E. R.; OLIVEIRA, P. J. P. de. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: UMA REVISÃO DE LITERATURA. **CADERNO DE FÍSICA DA UEFS**, v. 18, n. 2, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/870>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ROSA, P.; SOUZA, A. de. A História da Ciência e a Simulação Computacional no ensino e na aprendizagem da Física. **REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**, v. 33, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35302>. Disponível em: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/35302>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SANTOS, M. Uso da História da Ciência para Favorecer a Compreensão de Estudantes do Ensino Médio sobre Ciência. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 641–668, 2018. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2018182641. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4592>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SANTOS, M.; LIMA, D. L.; SILVA, A. P. Aprendizagem de modelos atômicos utilizando o Storytelling ambientado na história da ciência. **História da Ciência e Ensino**, v. 25, 2022. DOI: <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2022v25espp250-262>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/view/57773>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SASSERON, L. H.; DE CARVALHO, A. M. P. ALMEJANDO A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: A PROPOSIÇÃO E A PROCURA DE INDICADORES DO PROCESSO. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 333–352, 2016. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/445>. Acesso em: 11 jul. 2023.

VASCONCELOS, S. S.; FORATO, T. C. de M. Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p851>. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n3p851>.

Acesso em 12 nov. 2023.

VARGAS, N. de S. Aspectos históricos da alquimia. **Junguiana**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 69-76, 2017. Disponível em:

http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-08252017000200008&lng=pt&nrm=iso. Acesso em 28 nov. 2022.

APÊNDICE I

—∞—

*Os diferentes
ares obtidos da
cal vermelha de
mercúrio*

Narrativa histórico-investigativa

Yana Bárbara da Silva Teixeira
Ettore Paredes Antunes



Apresentação

Este material foi desenvolvido como parte de um projeto de Mestrado na área de Ensino de Ciências e Matemática do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPG-ECIM) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

O projeto tinha a proposta de elaborar uma narrativa histórico-investigativa (N^{HI}), com base nos trabalhos de Douglas Allchin (originalmente chamada de historical inquiry), como um recurso a ser utilizado pelo docente para potencializar a alfabetização científica.

A N^{HI} tem como contexto o processo de ruptura com a teoria do flogisto e, em essência, com os resquícios do conhecimento alquímico; e envolve o conflito de ideias que surge entre os trabalhos de Joseph Priestley e Antoine Laurent Lavoisier. Para apresentar maior liberdade criativa, o personagem acompanhado é fictício, denominado Thomas Smith.

Encontram-se neste material, uma introdução para discutir pontos principais sobre a alfabetização científica, a natureza da ciência e a abordagem pensada e desenvolvida por Douglas Allchin; assim como a N^{HI} na íntegra, constituindo um material para o professor.

Esperamos que o recurso seja proveitoso em suas salas de aula!





Sumário

Introdução	4
A química pneumática	10
Caracterização das formas de ar	15
Experimentos com a cal vermelha de mercúrio	19
Debates na comunidade científica	24
Uma nova forma de ar?	27
Referências	31



Introdução

Aquilo que se reconhece e se nomeia como ciência nos dias atuais foi concebida por meio de um longo processo de negociações internas e externas da comunidade científica. Porém, muitas vezes, não se questiona como a construção desse corpo de conhecimento acontece, como essas negociações tomam forma e influenciam e são influenciadas pelo contexto sociocultural.

Segundo Fourez (1997), compreender os processos que permitem o contínuo desenvolvimento da ciência é essencial para a alfabetização científica, uma vez que se propõe que o indivíduo seja capaz de utilizar seu conhecimento sobre a atividade científica e sobre conceitos científicos para fazer análises bem informadas e tomar decisões conscientes.

Essas habilidade torna-se ainda mais importante na sociedade tecnocientífica, em que o conhecimento sobre ciência e tecnologia são considerados em decisões sociopolíticas, de forma que os especialistas apresentam uma vantagem (Fourez, 1995).

Para tanto, é preciso viabilizar reflexões sobre o processo de construção da ciência, sobre como se estabelece sua credibilidade, sobre como os cientistas fazem escolhas, sobre as questões e projetos de interesse que estão na origem de um conhecimento científico, entre outros aspectos que fazem parte da natureza da ciência.

Allchin (2011) aponta que discutir a natureza da ciência no ensino de Ciências é indispensável para o desenvolvimento da habilidade de refletir criticamente sobre informações, fazer avaliações e argumentações, e resolver problemas, especialmente aqueles que demandam consciência dos processos de atividade e comunicação da ciência.

Dessa forma, um indivíduo torna-se munido com uma habilidade que lhe permite reconhecer padrões da comunidade científica para considerar a validade e credibilidade de dados em uma pesquisa, além de compreender alguns conceitos científicos. Sendo assim, é capaz, por exemplo, de avaliar informações sobre a eficácia de um medicamento contra certa doença.



Em um processo de ensino e aprendizagem baseado na rápida transmissão de conhecimento não é possível desenvolver esta habilidade; pelo contrário, é favorecida uma visão inadequada que considera a ciência imutável, descontextualizada e neutra (Cachapuz et al., 2005).

A investigação histórica é uma abordagem que pode viabilizar as discussões sobre aspectos da natureza da ciência e contribuir para a alfabetização científica. Conforme Allchin (2017a), casos históricos, mesmo que já solucionados, permitem simular o processo investigativo vivenciado por cientistas, proporcionando reflexões sobre o papel do erro, de investimentos, de equipamentos, bem como sobre o acesso à conhecimento, sobre as interações e negociações mantidas na comunidade científica. Ainda, potencializa o reconhecimento de que o conhecimento científico se estabeleceu por meio dos processos sócio-históricos, os quais poderiam modificar toda a estrutura científica se fossem diferentes.

Por conseguinte, a ciência pode ser entendida como um modelo construído por seres humanos, com seres humanos e para seres humanos, não se tratando de uma verdade absoluta (Fourez, 1997).

A narrativa histórico-investigativa (N^{HI}) é uma forma de trabalhar essa abordagem, sendo descrita por Allchin (2017b) como a narrativa de um caso histórico seguindo um personagem, tendo momentos de pausa para reflexões chamados de questões para pensar, os quais envolvem o estudante ativamente no processo de investigação.

O papel do professor é realizar a leitura do material e mediar o momento das questões para pensar fomentando as reflexões e exposições de ideias por parte dos alunos, envolvendo-os na trajetória do personagem.

O personagem a ser seguido pode ser fictício, desde que seja respeitado o contexto sócio-histórico e que não seja prejudicado o objetivo principal: “ajudar os alunos a compreender a dimensão epistêmica da ciência: como a ciência funciona (ou como por vezes não funciona!)” (Allchin, 2017b, p. 105, tradução da autora). Além disso, é enfatizado o uso de imagens como um fator positivo para ajudar a visualizar o contexto, o problema, os cientistas e o trabalho feito por eles (Allchin, 2017b).



O processo de ruptura com a teoria do flogisto é um caso histórico vantajoso para esta abordagem por ser um ponto crucial no estabelecimento da ciência e, de certa forma, marcar o abandono dos conhecimentos mais relacionados à Alquimia e seus princípios.

O flogisto era entendido como aquilo que era perdido por um material durante a queima devido a influência do fogo, sendo liberado para o ar. Tal compreensão era baseada na ideia de que a matéria continha água e terra, sendo a terra de dois tipos: a vitrificável, sólida; e a flogística, leve e inflamável (Bensaude-Vincent e Stengers, 1996; Greenberg, 2009). Essas compreensões ainda refletiam ideias alquímicas propagadas pela teoria dos quatro elementos, popularizada por Aristóteles, a qual afirmava que toda matéria era formada por uma combinação de elementos, os quais são: fogo, ar, água e terra.

A teoria do flogisto foi desenvolvida por Georg Stahl no século XVII, momento em que a comunidade científica já favorecia o pensamento mecanicista e rejeitava o pensamento mágico-vitalista que fundamentava a Alquimia.

A visão mágico-vitalista do mundo acreditava que existia uma força vital na matéria que poderia ser alterada e manipulada com os devidos processos; por outro lado, a visão mecanicista se baseia somente na ideia de matéria e movimento, compreendida por um estudo analítico e quantitativo (Alfonso-Goldfarb, 2005). Logo, as ideias alquímicas perderam espaço no mundo que se formava, já não sendo condizente com o contexto sociocultural que se estabelecia naquele momento da história.

Quando se inicia o estudo da química pneumática (ou estudo das formas de ar), os resquícios de ideias alquímicas e o pensamento mecanicista entra em um confronto que culmina no reconhecimento da Química como uma ciência, de fato.

As pesquisas sobre a calcinação da cal vermelha de mercúrio (óxido de mercúrio) e a liberação do que eram chamadas de “formas de ar” (gases) feitas por Carl Scheele e Joseph Priestley envolveram explicações baseadas na teoria do flogisto, identificando o “ar ígneo” ou “ar desflogisticado” que recebia o flogisto liberado pela cal.



Por um certo tempo, essas explicações pareciam plausíveis, uma vez que a teoria do flogisto ainda era amplamente aceita e utilizada pelos cientistas. No entanto, essa teoria já tinha pontos criticados, principalmente devido a sua inabilidade para elucidar o ganho de massa de materiais após calcinação, em contraposição a suposta perda que deveria acontecer após a liberação de flogisto.

Antoine Laurent Lavoisier criticava esses problemas na teoria e, em seus estudos, evidenciava somente a descrição de processos quantificáveis e reprodutíveis. Lavoisier propõe a ideia de calórico, uma forma de calor quantificável que estava unida a essa forma de ar, que foi denominada oxigênio. Por meio da calcinação, o oxigênio se unia a matéria e liberava o calórico.

Mesmo que essa teoria não seja tão distinta assim da anterior, apenas trocando o corpo combustível da matéria para o ar, ela foi crucial para o rompimento com as ideias de princípio em razão de manter uma corrente mecanicista que considera somente matérias quantificáveis e o movimento dessas mesmas matérias. Além disso, essa teoria justificava o ganho de peso na calcinação, que se dava pela união do oxigênio a matéria que queimava.

Lavoisier é, geralmente, considerado o pai da Química e glorificado na história da ciência, enquanto os feitos de Priestley e Scheele são quase apagados da descoberta do oxigênio. Será que essa fama é justificável? Martins (2009) afirma que Priestley encontrou-se pessoalmente com Lavoisier durante uma viagem à Paris, contribuindo grandemente para que Antoine se voltasse para as pesquisas da química pneumática, além de já ter isolado e caracterizado o oxigênio.

Todavia, Cachapuz et al. (2005) apontam que muitas vezes a história da ciência favorece certas perspectivas para criar a ilusão de linearidade e colocar a atividade científica em um papel de superioridade, considerando que seu pensamento vem sendo construído e reafirmado ao longo da humanidade. Porém, isso está oposto à realidade, uma vez que se pensa que os estudos feitos anteriormente não tinham interesses e problemas similares aqueles que se desenham para eles. Lavoisier não partiu para a caracterização da ideia de oxigênio que temos atualmente, na verdade, o ponto central da sua teoria era o calórico.



Ademais, ainda existe um caminho histórico até que a ruptura com a Alquimia seja completa (ainda que muitos cientistas tenham defendido a teoria do flogisto até seus últimos suspiros) e até que a ideia de gás seja estabelecida na comunidade científica, não podendo esse feito ser atribuído somente a um cientista.

Apesar disso, todo o processo descrito até aqui já permite uma grande quantidade de reflexões sobre a natureza da ciência no que concerne as mudanças conceituais, ao papel do contexto sociocultural, as disputas entre cientistas, aos padrões de raciocínio seguidos, a obtenção de evidências, a credibilidade de uma pesquisa, a influência de aspectos econômicos, entre outros.

Por isso, esse caso histórico foi escolhido para fundamentar a narrativa histórico-investigativa “Os diferentes ares obtidos da cal vermelha de mercúrio”, aqui apresentada, evidenciando como a ciência é construída por meio das diversas negociações e influências humanas, não sendo um reflexo da realidade dado pela natureza.

Este material é de uso do professor, para leitura e orientação, sendo compartilhado com os estudantes apenas alguns recorte e imagens em certos momentos da abordagem.

A N^oHI segue Thomas Smith, um personagem fictício que é apresentado como assistente e aprendiz de Priestley que vivenciará os estudos da química pneumática e o conflito entre a teoria do flogisto e a teoria do calórico elaborada por Lavoisier. Porém, considerando a estrutura e limitações do recurso, apenas alguns acontecimentos do caso histórico foram mantidos.

Foram elaboradas 11 questões para pensar, que proporcionam reflexões sobre aspectos da natureza da ciência a serem discutidos a fim de promover a alfabetização científica e contam com instruções para o professor em relação a mediação, ao uso de recursos complementares e ao tempo.

A turma pode ser dividida em duplas ou pequenos grupos para potencializar as discussões no momento das questões para pensar, cabendo ao docente a escolha.





O tempo total para trabalhar a N⁷H¹ é estimado em 4 horas e 30 minutos, sugerindo-se cinco encontros para trabalhar os cinco tópicos. Propõe-se a seguinte divisão:

1. A química pneumática (QP₁ e QP₂) - 45 minutos.
2. Caracterização das formas de ar (QP₃, QP₄ e QP₅) - 60 minutos.
3. Experimentos com a cal vermelha de mercúrio (QP₆ e QP₇) - 55 minutos.
4. Debates na comunidade científica (QP₈ e QP₉) - 50 minutos.
5. Uma nova forma de ar? (QP₁₀ e QP₁₁) - 60 minutos.

O docente tem a liberdade de buscar outros materiais complementares, sejam textos, vídeos ou imagens, desde que não seja fornecida um tipo de resposta para o estudante, uma vez que isso prejudicaria seu envolvimento na investigação ao interromper seu processo de raciocínio e reflexão.

Por fim, enfatiza-se que ao completar a N⁷H¹ é importante que o professor realize um momento de síntese sobre tudo que foi explorado, oportunizando que os alunos compartilhem suas compreensões sobre aspectos da ciência, sobre os temas abordados, sobre seu próprio raciocínio explicativo.

O docente pode realizar comparações entre caminhos e escolhas feitas pelos estudantes e aqueles feitas pelos cientistas do caso histórico, evidenciando os diferentes caminhos que a construção da ciência poderia ter tomado; além disso, é possível associar aspectos discutidos sobre a atividade científica para o momento atual, como o investimento em ciência, a comunicação científica, entre outros.

Esse processo ao fim da N⁷H¹ é um fator potencializador da alfabetização científica, contribuindo para que o estudante possa relacionar as discussões com o seu cotidiano e refletir sobre como seu conhecimento sobre ciência pode ajudá-lo a ver o mundo de forma mais crítica; em outras palavras, corrobora para o objetivo principal de desenvolver a habilidade de fazer análises bem informadas e tomar decisões conscientes.

Os próximos capítulos já fazem parte da narrativa histórica-investigativa.



A química pneumática

No século XVII, vários estudos ocasionaram mudanças na forma como os cientistas viriam a trabalhar posteriormente. Foi neste período que surgiram diferentes instrumentos, como a bomba de vácuo desenvolvida por Robert Boyle (1), a qual permitia recolher ares obtidos em experimentos. Esse instrumento, somado a outras ideias teóricas que emergiram na época, impulsionaram estudos sobre os diferentes ares.



Robert Boyle, à esquerda, e a bomba de vácuo, à direita.

Fonte: Martins (2009).

Assim, no século XVIII, os químicos passaram a realizar seus estudos em um ambiente bem diferente daqueles com os quais estavam acostumados. O desenvolvimento de equipamentos que permitiam isolar formas diferentes de ar demonstraram que o ar não é mais considerado um princípio que constitui a matéria de forma inerte. O ar passa a ser compreendido como uma matéria formada por diferentes corpúsculos que se movimentam e podem formar várias substâncias.

(1) Pesquisador inglês que se dedicou aos estudos sobre o ar e o vácuo no século XVII.

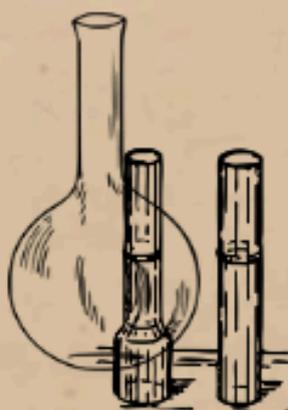
Desse modo, as reações não eram mais apenas limitadas à sólidos e líquidos, muitos cientistas passaram a se empenhar em estudos sobre a química pneumática, ou seja, estudos sobre os ares.

É nesse contexto que, em 1774, Thomas Smith se tornou aprendiz de Joseph, um pesquisador britânico com grande interesse pela ciência. Neste momento, Joseph atuava como bibliotecário e assistente de Lorde Shelburne, a fim de obter recursos financeiros para manter sua vida pessoal e profissional.

Assim, Thomas, tendo também o seu interesse pela ciência, iniciou sua jornada com Joseph como seu orientador, que já era professor da universidade. Eles realizaram estudos sobre os ares no laboratório oferecido por Lorde Shelburne (2).



Observe um recorte do texto de Joseph que apresenta uma síntese do momento inicial destes estudos:



Para uma melhor compreensão das experiências e observações sobre os diferentes tipos de ar contidos neste estudo, é útil lembrar fatos que foram descobertos por outros e que ajudaram no prosseguimento destas investigações. Um fato de importância e já conhecido é que o Sr. Boyle descobriu, por meio de dois tipos notáveis de ar, que vapores podem ser obtidos a partir de substâncias sólidas.

O aparelho utilizado para estes experimentos, nada mais é do que o aparelho do Dr. Hales, do Dr. Brownrigg e do Sr. Cavendish, modificado e simplificado. Para obter o ar das substâncias sólidas por meio do calor, elas podem ser inseridas em recipiente em que uma extremidade pode ser colocada em fogo, como um tubo de vidro. O ar gerado deste aquecimento sai por outra extremidade, que está inserida em um recipiente preenchido com mercúrio, o qual permite a coleta do ar (Adaptado de Priestley (1774, p. 2, 6, 13)).

(2) William Petty-Fitz Maurice, duque de Shelburne, convidou Priestley para trabalhar como tutor de seus filhos e como seu bibliotecário e assistente geral no fim do ano de 1773 (Martins, 2009).

Por meio deste trecho, é possível entender que os estudos dos ares demandavam uma grande dedicação do cientista, incluindo seu tempo, uma grande quantidade de recursos e acesso ao conhecimento acerca de diferentes conceitos que envolviam o tema.

Questão para pensar 1

Considerando o recorte textual apresentado, quais informações você consideraria importante saber para iniciar os estudos sobre os ares? Quais técnicas e recursos poderiam ser necessários? Com base em suas respostas, qual caminho você pensaria em seguir para realizar uma pesquisa sobre os ares?

Professor, disponibilize o recorte textual para leitura em forma de slide ou de material impresso para que as equipes possam trazer pontos importantes do mesmo para a discussão. Peça que registrem uma proposta de estudo sobre os ares, que você pode ajudar a mediar com questões como “Que tipo de experimentos poderiam ser feitos?”; “Seria importante verificar a cor ou o cheiro de um ar para entendê-lo?”; “Qual sua proposta para coletar o ar para estudo?”.

Tempo estimado para a leitura de QP1 e para as discussões em sala: 15 minutos.



Fonte: Martins (2009).

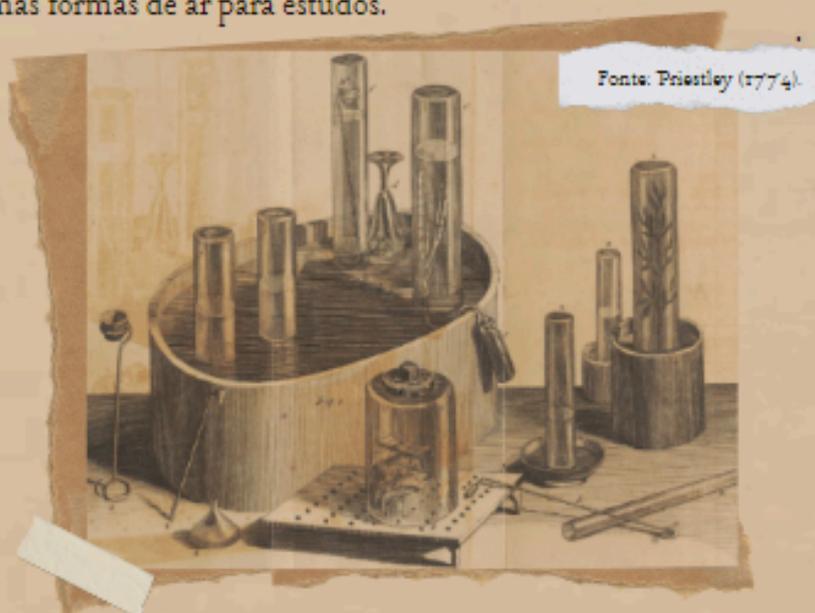
Joseph e Thomas buscaram textos de outros estudos experimentais sobre os ares como base para a sua pesquisa. Foi dessa forma que encontraram inspiração na leitura dos trabalhos de Stephen Hales, o qual apresentou aos seus colegas um equipamento muito importante nas primeiras décadas de 1700: um aparato que permitia separar os ares de suas fontes.

A partir dessa ideia, Thomas começou a auxiliar Joseph no desenvolvimento de um equipamento similar para as pesquisas. Ele passou a ler mais informações sobre como criar uma estrutura com base no que foi apresentado por Hales; enviar cartas a colegas cientistas para entender como coletavam ares e quais materiais e equipamentos utilizavam; comprar e testar peças; e avaliar a eficiência na coleta de ar em cada passo que davam para construir o aparato.

Juntos, eles confeccionaram o que Joseph denominou de “cuba pneumática”. O equipamento consistia em um recipiente cheio de água em que se encontrava um suporte com furos para encaixar cilindros de vidro, também preenchidos com água, de cabeça para baixo. Os ares eram introduzidos através de tubos para serem coletados nestes cilindros, na parte superior do recipiente – ou seja, acima da água.

Esse equipamento seria a estrutura essencial de seus experimentos, permitindo coletar formas de ar liberadas por diferentes substâncias após a calcinação.

Na próxima etapa da pesquisa, Thomas passou a ajudar Joseph com os experimentos de calcinação, ou seja, aquecimento de materiais (como ferro, zinco e magnésia alba (3)), de maneira que poderiam coletar algumas formas de ar para estudos.

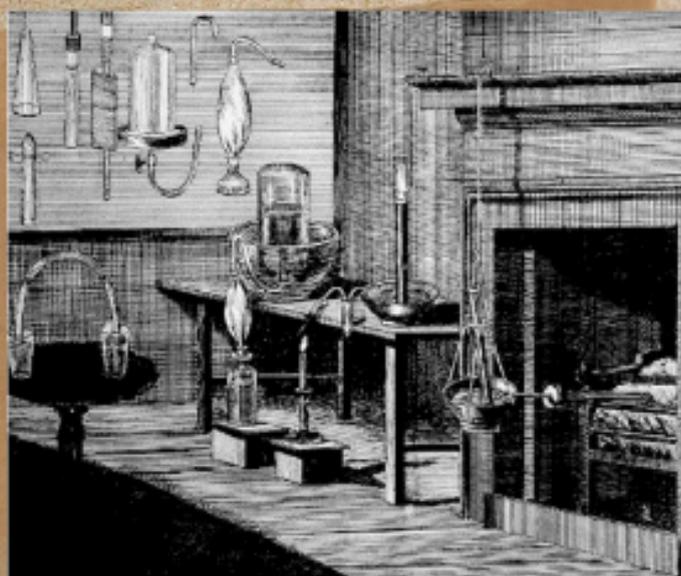


Fonte: Priestley (1774).

(3) Atualmente, trata-se da substância conhecida como carbonato de magnésio.

Questão para pensar 2

Observando a imagem, reflita sobre a importância dos recursos financeiros e da infraestrutura no desenvolvimento de uma pesquisa. Sem o laboratório de Shelburne, a pesquisa de Joseph poderia ser desenvolvida? É possível fazer ciência fora das universidades e institutos de pesquisa?



Fonte: Martins (2009).

Professor, disponibilize a imagem em forma de slide ou de material impresso para que as equipes possam identificar pontos importantes observados nela e trazer para a discussão em sala de aula. A mediação pode ser feita com questionamentos sobre a possibilidade de realizar experimentos sem certos recursos, sobre os locais nos quais esses recursos estão disponíveis, sobre o custo desses recursos e sobre a possibilidade de um cientista sozinho ter as condições financeiras para obtê-los.

Tempo estimado para a leitura de QP2 e as discussões em sala: 10 minutos.

Caracterização das formas de ar

O estudo dos ares não acaba após coletá-los, uma vez que se deseja conhecer o que cada um é, como reagem no mundo, suas características. Sobre uma das formas de ar coletadas, pode-se associar as seguintes características descritas por Joseph:

Um deles é mais denso que o ar comum. Esse ar permanece próximo ao fundo dos poços, extingue a chama de velas, e mata animais que o respiram (Adaptado de Priestley (1774, p. 2)).

Questão para pensar 3

Pensando em quais informações seriam importantes para caracterizar uma forma de ar, descreva como você faria para identificar a forma de ar coletada. Quais testes poderiam ser feitos para verificar a diferença de densidade?

Professor, forneça o seguinte clipe do vídeo “Joseph Priestley Experiment” de Chary Digitalis (2020) por meio do [link](#) para fomentar as discussões sobre experimentos de caracterização das formas de ar. Peça para que registrem a descrição do experimento, quais informações seriam obtidas e a importância delas.

Tempo estimado para a leitura de QP3, clipe, discussões e registro: 20 minutos.

Joseph já conhecia os trabalhos publicados por alguns estudiosos sobre os ares, de forma que Thomas passou a buscar essas e outras pesquisas para auxiliar na caracterização das formas de ar coletadas. A cada leitura, ele anotava experimentos feitos e características identificadas.



Os estudiosos, ele observou, costumavam principalmente testar se o gás reagia com outras substâncias, se era inflamável, se apagava a chama de uma vela, se mantinha a chama de uma vela acesa, seu efeito em plantas e na respiração, entre outros experimentos.

O ar obtido a partir do ferro e do zinco era o mesmo. Eles observaram, após replicarem experimentos com base nas informações encontradas por Thomas, que era um ar inflamável, os animais não conseguiam respirá-lo por muito tempo e reagia com a água. Quando misturado com a água, era formada uma película (sobrenadante) fina vermelha, se o ar tivesse sido obtido do ferro, e branca se o ar tivesse sido obtido do zinco.

Thomas e Joseph perceberam, por meio dos experimentos, que a forma de ar obtida da calcinação da magnésia alba não era respirável, tinha afinidade com a água e apagava a chama de velas rapidamente.

Logo, essas formas de ar eram diferentes do ar comum, ou ar atmosférico, o qual os estudiosos já haviam pesquisado amplamente e divulgavam suas informações: reagia com água, respirável por um determinado tempo quando fechado em um recipiente, respirável normalmente no ambiente e permitia que a chama de uma vela permanecesse acesa por um determinado tempo.

Questão para pensar 4

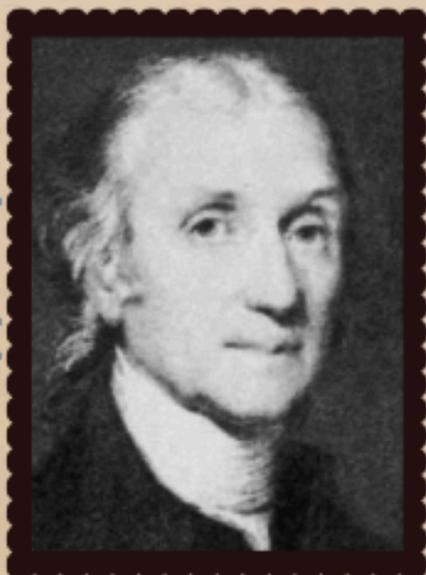
Como Joseph e Thomas poderiam ter certeza que fizeram uma caracterização correta? Quais critérios poderiam utilizar?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula com questionamentos sobre os tipos de critérios que os estudantes considerariam importantes para definir a credibilidade de um estudo: seria necessário avaliar a forma como o experimento foi feito? As anotações dos dados? A descrição das características? Deve-se considerar aspectos sobre os cientistas que realizaram o estudo?

Tempo estimado para a leitura de QP4 e discussões em sala: 10 minutos

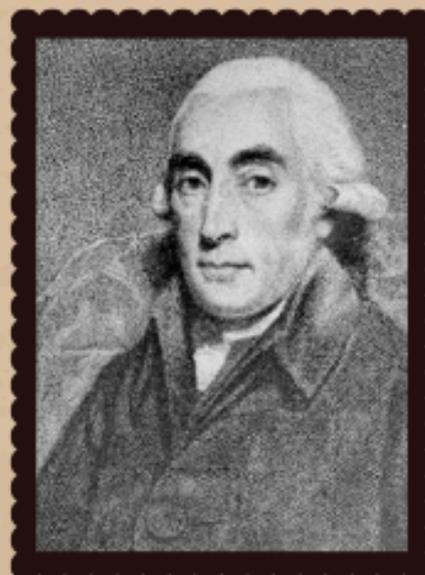
Os trabalhos de Joseph Black, sobre o ar fixo, e de Henry Cavendish, sobre o ar inflamável, foram essenciais para que a caracterização feita por Joseph e Thomas pudesse ser aceita por outros cientistas, uma vez que essas pesquisas já eram muito reconhecidas e reproduzidas pela comunidade científica (4).

Fonte: <https://www.wisc.edu/~chem/figure/3a/HenryCavendish-1731-1801-001-tandem-English-coconut.jpg>



Henry Cavendish, em 1766, conseguiu isolar uma forma de ar que chamou de ar inflamável. Esse ar saía dos metais que eram atacados por ácido e queimava facilmente em contato com uma chama. Ao realizarem o teste da chama com o ar coletado pela calcinação do ferro e do zinco, foi identificada a inflamabilidade do ar. Joseph e Thomas, ainda, observaram que esse ar não permitia a respiração dos seres vivos e poderia reagir com a água.

Joseph Black, em 1756, já havia realizado experimentos com magnésia alba. Ele registrou que, após a calcinação, a magnésia alba se tornava um pó branco e dela saía um ar, o qual Black observou que era uma espécie não respirável, sendo o mesmo tipo de ar liberado na respiração e na combustão (queima) de materiais. Ele afirmou que esse ar, o qual chamou de ar fixo, era o mesmo gás silvestre já observado por Van Helmont, em 1600.



Fonte: Martins (2009).

(4) A comunidade científica é compreendida por Fourez (1995, p. 93) como "uma confraria onde os indivíduos se reconhecem como membros de um mesmo corpo". Pode-se dizer que os cientistas se reconhecem como membros da comunidade que pratica ciência e têm princípios científicos semelhantes.

Questão para pensar 5

Com base nos estudos conduzidos por Joseph e Thomas, como as informações e os resultados obtidos por outros pesquisadores podem auxiliar no desenvolvimento de uma pesquisa? Qual é a importância de ter acesso aos trabalhos de outros cientistas?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula com questões como "A pesquisa de Joseph e Thomas teria tido sucesso na caracterização dos ares sem acesso aos trabalhos de Cavendish e Black?", "Os resultados descritos por Cavendish e Black influenciaram na aceitação dos estudos de Joseph e Thomas?"

Tempo estimado para a leitura de QP5 e discussões em sala: 5 minutos.

Joseph percebeu que alguns ares se misturavam ou reagiam com a água que preenchia o equipamento que utilizavam. Por isso, solicitou que Thomas buscasse em suas leituras outras substâncias utilizadas pelos estudiosos para a coleta de ares.

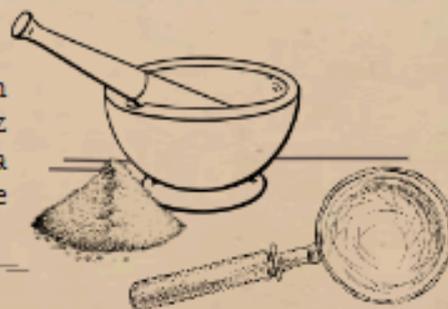
Thomas identificou, por meio de seus estudos, que o mercúrio líquido era uma alternativa comum, considerado o método mais preciso para extrair os ares. Portanto, comunicou isso a Joseph e, a pedido de seu orientador, enviou cartas para solicitar a compra desse material para os próximos experimentos.



Experimentos com a cal vermelha de mercúrio

Para prosseguir com os estudos, Joseph também obteve uma lente adequada para concentrar a luz solar em substâncias em pó a fim de coletar o ar liberado por elas. Isso foi necessário para substituir o espelho que utilizavam e que não permitia realizar os experimentos com substâncias em forma de pó e nem com qualquer material que precisasse ficar no recipiente com mercúrio.

Assim, com a lente, Thomas e Joseph realizaram o experimento para focar a luz solar em cal vermelha de mercúrio (5) a fim de identificar a forma de ar que poderia ser coletada.



No equipamento, existia um recipiente de vidro com mercúrio líquido posicionado de cabeça para baixo em outro recipiente cheio de mercúrio. Por baixo, era adicionada outra substância menos densa que o mercúrio para ficar na parte superior do recipiente. Dessa forma, era possível aquecer a substância com a lente e os ares liberados por meio da calcinação passavam pelo mercúrio e eram coletados no recipiente de vidro.



A forma de ar obtida da cal vermelha de mercúrio foi testada com experimentos já identificados por Thomas nos estudos de diversos cientistas e já realizados por eles para caracterizar outras formas de ar: experimento com a água, observando que se misturava a ela; experimento com uma vela, sendo possível identificar sua capacidade de manter a chama acesa de forma muito brilhante e por um longo período de tempo; e experimento com animais (ratos), os quais, eles observaram, podiam respirar essa forma de ar.

(5) Pó vermelho obtido por meio de aquecimento do mercúrio líquido no ar, mercúrio calcinado, conhecido atualmente como "óxido de mercúrio".

Questão para pensar 6

Preencha o Quadro 1, com características que podem ser observadas para cada forma de ar. Comparando-as, pode-se entender que o ar obtido da cal vermelha de mercúrio já era conhecido ou se diferenciava? Qual a importância de realizar a comparação de uma pesquisa com outros estudos? Como seria possível ter certeza que era um ar já estudado ou uma nova forma de ar?

Quadro 1 - Características de formas de ar estudadas por Joseph e Thomas

Formas de ar	Características
Ar fixo	
Ar inflamável	
Ar comum	
Ar obtido da cal vermelha de mercúrio	

Professor, forneça esse quadro em material impresso ou solicite que criem o quadro em papel para registro.

As informações sobre cada forma de ar estão disponíveis no próprio material, mas seguem-se abaixo características que podem ser registradas no Quadro 1:

- O ar fixo é liberado na queima de materiais, é liberado na respiração, é capaz de apagar chama de uma vela, não é respirável.
- O ar inflamável reage com a água, é facilmente inflamável, é liberado por metais ao reagirem com ácido e não é respirável.
- O ar comum reage com a água, é respirável por um determinado tempo quando fechado em um recipiente, respirável normalmente no ambiente, permite que a chama de uma vela permaneça acesa por um determinado tempo.
- O ar obtido da cal vermelha de mercúrio reage com a água, é liberado por aquecimento da cal vermelha de mercúrio, permite que a chama de uma vela brilhe ardentemente por um longo período e é respirável por um longo período.

Podem ser feitas questões associadas a essas características para mediar discussões.

Tempo estimado para a leitura de QP6, discussões e registro: 20 minutos.

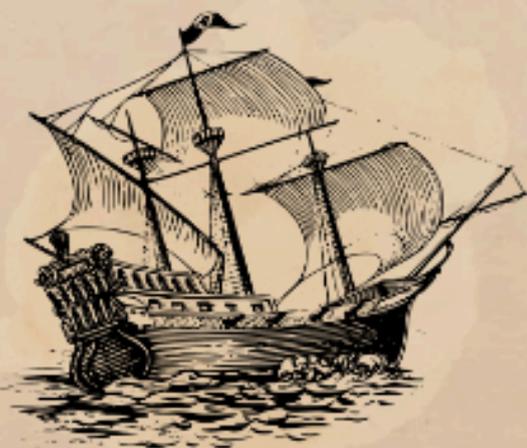
Joseph e Thomas perceberam que existiam diferenças entre a forma de ar obtida da cal vermelha de mercúrio e o ar inflamável e o ar fixo, visto que este ar era respirável e os outros não. No entanto, as diferenças ainda pareciam pequenas em relação ao ar comum, de forma que Thomas acreditava que poderiam ter obtido essa forma de ar.

Apesar de ter comunicado esse pensamento ao seu orientador, Joseph estava intrigado pela forma de ar e solicitou o envio de cartas aos colegas cientistas para marcar uma reunião em que pretendia compartilhar as descobertas que fizeram.

Em uma viagem a Paris, acompanhando Lorde Shelburne, Joseph se reuniu com Antoine, um acadêmico e administrador que financiava seu próprio laboratório de pesquisa e já era muito reconhecido pela comunidade científica.

Joseph compartilhou com ele as anotações e descreveu o experimento feito e os resultados obtidos. Ao voltar da viagem, Joseph contou à Thomas que Antoine também acreditava que a forma de ar poderia se tratar somente de ar comum, mas informou que iria replicar o experimento e enviar cartas sobre suas conclusões.

Joseph decidiu que também deveriam fazer mais estudos, por isso buscou, juntamente com Thomas, observar o período em que era possível respirar as duas formas de ar. Por meio do experimento, eles perceberam que a nova forma de ar era respirável por um período muito superior ao ar comum, sendo também cinco ou seis vezes mais puro que o ar comum.



Além disso, a chama da vela não apenas permanecia acesa, mas ardia de forma nunca antes vista. Quanto a esse aspecto, Joseph percebeu que era preciso entender melhor como a nova forma de ar poderia estar relacionada a esse processo.

Joseph, então, solicitou que Thomas lesse sobre o processo de queima e como ele era explicado pelos estudiosos, de forma que pudesse contribuir de forma mais eficiente para a pesquisa. Em suas leituras, Thomas percebeu que esse fenômeno estava associado à ideia de forças e movimento das partículas que formam a matéria. Ele identificou que a teoria mais utilizada para explicar o que acontece na queima de uma matéria era chamada de teoria do flogisto.

Segundo essa teoria, a matéria continha, em princípio, água e terra, sendo a terra de dois tipos: a vitrificável, sólida; e a flogística, leve e inflamável. O fogo era considerado um instrumento capaz de colocar o flogisto em movimento; logo, durante a queima, o material perdia o seu flogisto e o liberava para o ar. O ar ficava tão cheio de flogisto que não era mais possível acontecer a queima e a respiração, por exemplo.



Com suas anotações sobre tudo que observou em suas leituras, Thomas se sentiu mais preparado para tentar entender e explicar como a nova forma de ar poderia estar relacionada com o fato de a chama da vela arder de forma tão esplendorosa.

Questão para pensar 7

Considerando a teoria do flogisto e o escrito de Joseph sobre o ar obtido da cal vermelha de mercúrio (abaixo), qual você acredita que seria a relação entre a queima de uma vela e essa forma de ar?

Estando agora plenamente satisfeito com a natureza desta nova espécie de ar, que, sendo capaz de extrair mais flogisto do ar nitroso, contém originalmente menos deste princípio [...] (Priestley, 1775, p. 48).

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula, podem ser úteis questionamentos que ajudem os alunos a trabalharem em identificar informações relevantes nos resultados dos experimentos e formarem um processo de raciocínio para relacionar com aspectos da teoria do flogisto.

Tempo estimado para a leitura de QP7 e discussões em sala: 10 minutos.

Joseph e Thomas se reuniram para discutir sobre os resultados observados no experimento e como poderiam explicá-lo de acordo com a teoria do flogisto. Após um longo debate, chegaram à conclusão de que a nova forma de ar era capaz de receber uma grande quantidade de flogisto liberado pela queima da vela, uma vez que a chama permanecia acesa por um longo período de tempo. Logo, Thomas acrescentou, essa forma de ar continha pouco flogisto. Por esse motivo, Joseph chamou o ar obtido do aquecimento da cal vermelha de mercúrio de "ar desflogisticado", no trabalho publicado em 1775.

Thomas sentiu que ajudou Joseph a fazer uma grande contribuição para a química pneumática, em razão da caracterização de uma nova forma de ar.

Debates na comunidade científica



Fonte: <https://www.instituto-fisico.org.br/ciencias/tecnologia/carl-wilhelm-scheele-1749-1786/>.

Joseph e Thomas celebraram grandemente quando os resultados de sua pesquisa foram confirmados e se tornaram discutidos publicamente quando Antoine, que era pesquisador de outra universidade, afirmou que a forma de ar obtida era a parte mais pura do ar atmosférico, inclusive a chamou de “ar vital”. Além disso, Carl Wilhelm Scheele havia enviado uma carta para Joseph sobre sua pesquisa, realizada antes dos estudos de Thomas e Joseph, afirmando que também havia utilizado o flogisto para caracterizar esse ar que constituía atmosfera, sendo ele capaz de absorver o flogisto contido em outra matéria.

Questão para pensar 8

O que você acredita que está relacionado com a aceitação ou não de uma teoria/hipótese? A concordância entre outros cientistas tem influência nesse processo?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula, podem ser feitos questionamentos como “Existem aspectos da pesquisa que poderiam ser relevantes para isso?”, “Se Joseph e Thomas não tivessem seguido os estudos de Black e Cavendish, a pesquisa teria sido aceita da mesma forma?”, “Como os estudos de Scheele podem ter sido importantes para a aceitação da pesquisa?”.

Tempo estimado para a leitura de QP8 e discussões em sala: 10 minutos.

Mesmo que fosse amplamente utilizada, Joseph sabia que a ideia de flogisto já era debatida e criticada desde o início da década de 1770, sendo Antoine um dos cientistas que questionava essa teoria, pois segundo ele:

A ciência atual apresenta muitas lacunas que quebram a sequência encadeada dos factos e exigem ligações suplementares embaraçosas e difíceis [...] (Lavoisier, 1789, p. 12).

Joseph já tinha conhecimento do problema amplamente discutido: uma vez que o fogo movimentava o flogisto, retirando-o da matéria, como poderia acontecer o ganho de peso de metais em uma calcinação?

Antoine já havia demonstrado, em 1772, um experimento de queima de enxofre em recipiente fechado. Ele realizou a pesagem de cada parte separadamente e também do conjunto antes e depois da reação de combustão, constatando que o peso total era mantido.



Já sendo oposto à teoria de flogisto, Antoine trabalhou em experimentos meticulosos e apresentou à comunidade científica seu trabalho, em 1777, apontando que poderia ser o ar que estivesse envolvido na reação de queima, combinando-se com o metal e causando a liberação de uma matéria de fogo, que chamou de calórico, responsável por produzir o calor ou a sensação de calor.

Thomas após ler a pesquisa publicada por Antoine, compartilhou com Joseph suas preocupações, descobrindo que seu orientador também temia que houvesse um problema entre as ideias de Antoine e os estudos feitos por grande parte dos colegas cientistas.

Os debates, de fato, começaram a surgir. Por isso, Thomas buscou, a partir de 1777, contribuir para que a teoria do flogisto, e, conseqüentemente a caracterização do ar desflogisticado, fossem amplamente aceitas entre os colegas cientistas. Ele se dedicou a buscar material que o ajudasse nessa tarefa, enquanto Joseph continuava a pesquisa sobre os ares.

Questão para pensar 9

Observe o Quadro 2, o qual apresenta as características do flogisto e do calórico. É possível identificar qual das matérias eram verdadeiras? Como a comunidade científica poderia tomar uma decisão?

Quadro 2 - Características do flogisto e do calórico, presentes em teorias sobre a combustão.

Matéria	Características
Flogisto	O flogisto, princípio do fogo que estava no material, era liberado durante a combustão que causava essa desunião da matéria.
Calórico	A combinação com uma parte do ar durante a queima ocasiona a liberação do calórico, princípio do fogo contido no ar.

Professor, solicite um registro de critérios que a equipe utilizaria para escolher uma das matérias como verdadeira. Após compartilharem suas ideias e debaterem com outros grupos defendendo ou atacando pontos, realize uma mediação que tem como ponto principal discutir se as duas matérias eram tão diferentes assim.

Tempo estimado para a leitura de QP9 e discussões em sala: 25 minutos.

Uma nova forma de ar?

Thomas leu diferentes textos que pudessem ajudá-lo a trazer um fundamento incontestável para a teoria do flogisto, e seu trabalho se prolongou por um certo período, sendo na Alquimia que encontrou o que acharia ser o seu triunfo.

Em suas leituras, Thomas identificou que a Alquimia foi a principal forma de conhecimento utilizada para explicar os fenômenos observados por cerca de quatro séculos. Uma das ideias principais da Alquimia assinalada por Thomas era a teoria dos quatro elementos, popularizada pelo filósofo grego Aristóteles. De acordo com essa teoria, toda matéria era formada por uma combinação de elementos, os quais são: fogo, ar, água e terra. Nessa perspectiva, Thomas apontou uma conexão entre a teoria do flogisto, que afirmava a constituição da matéria por água e terra, e uma forma de conhecimento que perdurou por séculos.

Considerando que a teoria do flogisto poderia ser comparada com uma teoria de muito reconhecimento, Thomas acreditou que tinha uma base muito forte que contribuía para que essa teoria se confirmasse como verdadeira, finalizando os debates suscitados por Antoine.

Mesmo tentando levantar esses pontos, Thomas e outros estudiosos não eram ouvidos por muitos colegas e a teoria do flogisto passou a ser cada vez menos utilizada e valorizada, sendo favorecido o pensamento de Antoine, que ganhava cada vez mais reconhecimento. A sua proposta de que o calórico e o oxigênio eram os principais atores na combustão conquistou muitos adeptos, enquanto a teoria do flogisto perdia a sua força. Sobre a superação dos erros que via na teoria do flogisto, Antoine escreveu:



O único meio de evitar estes erros é suspender, ou pelo menos simplificar ao máximo, o raciocínio que nos pode conduzir ao erro; submetê-lo à prova da experiência; conservar apenas os fatos que nos são dados pela natureza; procurar apenas a verdade no encadeamento natural das experiências e observações [...] (Lavoisier, 1789, p. 10).

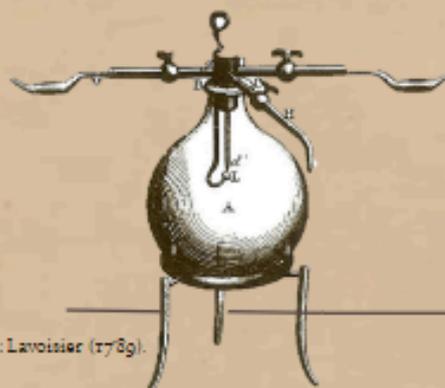
Questão para pensar 10

A comparação de uma teoria com outras pode ser utilizada como fator para aceitação de uma ideia? Ela pode ser um fator decisivo ou são necessárias outras evidências? Quais aspectos devem ser considerados quando teorias estão em debate?

Professor, realize a mediação da discussão em sala de aula, perguntando quais critérios e evidências as equipes considerariam como prova da veracidade de uma teoria. Todos os aspectos apontados são de caráter científico (coerência com o conhecimento, experimentos) ou existem aspectos diferentes que influenciam esse processo? Aborde esse questionamento para fomentar a reflexão sobre aspectos externos à ciência que influenciam na construção do conhecimento, por exemplo, a fama de Antoine.

Tempo estimado para a leitura de QP10 e discussões em sala: 10 minutos.

Em 1783, Antoine, utilizando de seus muitos recursos e equipamentos, realizou, junto a Pierre-Simon Laplace, uma demonstração experimental sobre a composição da água, sintetizando-a a partir de ar inflamável e ar vital, o qual era chamado agora de gás oxigênio.



Fonte: Lavoisier (1789).



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_Laplace#/media:Ficheiro:Pierre-Simon_Laplace_1749-1827.jpg

Thomas, que assistiu a essa demonstração, recordou que um experimento similar já tinha sido realizado por Cavendish, em 1781, em que a queima do ar inflamável com o ar desflogisticado produziu uma névoa úmida no vidro. Joseph apontou para ele, na época, que o ar inflamável, na verdade, era ar inflamável sobrecarregado com flogisto, que era liberado durante a combustão para o ar desflogisticado. Porém, Thomas sentiu que a demonstração de Antoine trouxe uma nova perspectiva para a comunidade científica.

Após isso, Thomas observou que a interpretação fornecida pelo flogisto passou a cair em desuso ainda mais rapidamente, mesmo que muitos cientistas, inclusive Joseph Priestley, seu orientador, tivessem acreditado nela e ainda afirmassem utilizar essa teoria em seus estudos até o fim de suas vidas. Thomas percebeu que a teoria proposta por Antoine Laurent Lavoisier de que o calórico fazia parte do processo de queima prevalecia na mente e estudos da comunidade científica.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier#/media:File:David_Bonnet_et_Marie-Anne_Lavoisier_et_son_fils_WdR.jpg



Antoine Laurent Lavoisier e sua esposa Marie Anne Pierrette Paulze

Joseph Priestley



Fonte: Martins (2009).



Nos anos seguintes, em que Thomas havia decidido apenas ler sobre ciência e não mais praticá-la, ele observou a teoria de Lavoisier passar por muitas críticas na comunidade científica até que a ideia de calórico fosse abandonada e se tornasse amplamente aceita entre os cientistas que é o gás oxigênio o ator essencial em uma reação de combustão.

Até os dias atuais, explica-se a queima de um material com base nesse gás: o gás oxigênio reage com um material combustível, suscetível ao processo de combustão, quando é fornecida uma fonte de energia, uma chama, que ativa a reação. A reação química continua enquanto houver gás oxigênio para reagir com o combustível e permitir a queima do material.

Questão para pensar II

Crie um mapa mental que apresente as características da teoria do flogisto, do calórico e do oxigênio. Quais conclusões você pode fazer sobre o processo de construção e aceitação de um conhecimento na ciência observando esse mapa e considerando todas as discussões feitas até o momento?

Professor, forneça como material cartolinas a fim de que a equipe produza o mapa mental e apresente suas considerações para os colegas. Após isso, realize uma síntese das discussões destacando pontos importantes sobre a importância de recursos, sobre o uso de teorias para embasar experimentos, sobre a comunicação entre cientistas, sobre o processo de aceitação de teorias.

Tempo estimado para a leitura de QPn e discussões em sala: 30 minutos.



Referências

- ALLCHIN, D. Beyond the Consensus View: Whole Science. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, v. 17, n. 1, p. 18-26, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1080/14926156.2016.1271921>.
- ALLCHIN, D. Casos de investigação histórica para o aprendizado da natureza da ciência. *Cadernos de História da Ciência*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 101-126, 2017b. DOI: [10.47692/cadhistcienc.2017.v13.33802](https://doi.org/10.47692/cadhistcienc.2017.v13.33802).
- ALLCHIN, D. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Education*, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. Da Alquimia à química: um estudo sobre a passagem do pensamento mágico-vitalista ao mecanicismo. São Paulo: Landy Editora, 2005.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. *Histoire de la chimie*. 9 ed. Paris: ÉDITIONS LA DÉCOUVERTE, 1993.
- CACHAPUZ, A.; et al. Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: Um requisito essencial para a renovação da educação científica. In: CACHAPUZ, A.; et al. *A necessária renovação do ensino das ciências*. São Paulo: Cortez, 2005. p. 37-70.
- FOUREZ, G. A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Editora UNESP, 1995.
- FOUREZ, G. Scientific and Technological Literacy as a Social Practice. *Social Studies of Science*, vol. 27, n. 6, pp. 903-936, 1997.
- GREENBERG, A. Uma breve história da química - da alquimia às ciências moleculares modernas. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.
- JOSEPH Priestley Experiment. [S.l.]: Chary Digital, 2020. 1 vídeo (1 min, 59 segs). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=r9Es4knA7xA>. Acesso em: 25 jun. 2024.

Referências

LAVOISIER, A. L. *Traité Élémentaire de Chimie*. Paris: Gaspard-Joseph Cuchet, 1789.

MARTINS, R. de A. Os estudos de Joseph Priestley sobre os diversos tipos de "ares" e os seres vivos. *Filosofia e História da Biologia*, v. 4, p. 167-208, 2009.

PRIESTLEY, J. Observations on different kinds of air. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 62, p. 147-264, 1772.
DOI: <https://doi.org/10.1098/rstl.1772.0021>.

PRIESTLEY, J. *Experiments and observations on different kinds of air*. 3 vols. London: W. Bowyer and J. Nichols, 1774-1777.

