



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Cristina Spolti Lorenzetti

**Um estudo histórico-epistemológico do desenvolvimento da Tabela Periódica de Dmitri
Ivanovich Mendeleev: implicações ao ensino de ciências**

Florianópolis
2024

Cristina Spolti Lorenzetti

**Um estudo histórico-epistemológico do desenvolvimento da Tabela Periódica de Dmitri
Ivanovich Mendeleev: implicações ao ensino de ciências**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi

Coorientadora: Profa. Dra. Anabel Cardoso Raicik

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Lorenzetti, Cristina Spolti

Um estudo histórico-epistemológico do desenvolvimento da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev : implicações ao ensino de ciências / Cristina Spolti Lorenzetti ; orientador, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi, coorientadora, Anabel Cardoso Raicik, 2024.

190 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Tabela Periódica. 3. Mendeleev. 4. História e Filosofia da Ciência. 5. Ensino de Física e Química. I. Peduzzi, Luiz Orlando de Quadro. II. Raicik, Anabel Cardoso. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. IV. Título.

Cristina Spolti Lorenzetti

**Um estudo histórico-epistemológico do desenvolvimento da Tabela Periódica de Dmitri
Ivanovich Mendeleev: implicações ao ensino de ciências**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 28 de agosto de 2024, pela
banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Luiz O. Q. Peduzzi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Anabel Cardoso Raicik, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Leticia dos Santos Pereira, Dra.
Universidade Federal da Bahia

Prof. Fábio Luís Alves Pena, Dr.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Prof. Fábio Peres Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Letícia Jorge, Dra.
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado
para obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Luiz O. Q. Peduzzi, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

É difícil depois de dois anos agradecer em poucas palavras aqueles que de uma forma ou de outra auxiliaram a me manter firme neste caminho. Primeiramente, preciso citar aqueles que sempre acreditaram que eu chegaria até aqui e concluiria essa jornada com sucesso: minha família (pais, irmãs, cunhados, sobrinhos, tios e tias, prima, Bianca).

Depois, agradeço aqueles que fizeram dessa caminhada um trilhar mais leve, com sucessos e dificuldades compartilhadas: os amigos do mestrado, que aqui carinhosamente chamarei de “Rodinha do Gesonel”. Deles, eu deixo uma menção especial à Letícia, à Nathalia e ao Rodrigo, que vivenciaram comigo os altos e baixos dessa minha inserção na vida acadêmica. Falando em amigos que presenciaram esses vários momentos, não posso deixar de citar também a Mônica e o Paulo.

Do mestrado para a vida, agradeço àquele que esteve presente nos melhores e nos piores dias dessa jornada, dando apoio, muito amor, lembrando-me da minha humanidade e sendo alguém que sempre pude recorrer, para as comemorações ou lamentações: Juarez, você é imprescindível.

Agradeço também imensamente àqueles que com todo o amparo e cooperação me ajudaram a tornar esse trabalho realizável: meus orientadores. Anabel, que desde os anos de graduação vem me *orientando* a como vir a me tornar uma pesquisadora, com quem pela primeira vez me encantei com os caminhos sinuosos, porém magníficos da História e Filosofia da Ciência. Professor Peduzzi, que tem sido uma referência também desde os tempos de graduação e que tive alegria de ser orientada durante o mestrado. São pessoas que só fizeram aumentar a paixão por aquilo que faço.

Durante a escrita de um trabalho tão importante para a vida de uma pesquisadora em formação, uma das coisas mais fundamentais é manter a saúde mental e física. Por isso, deixo aqui um agradecimento especial à academia de Taekwon-DO Innae Kwang I.T.C. MU-DO, que ao longo desse período auxiliou no meu equilíbrio físico, mental e espiritual.

Por fim gostaria de agradecer a todos os professores do PGGECT que contribuíram para minha formação como pesquisadora, em especial ao professor Henrique.

À CAPES, agência de fomento à pesquisa que me amparou financeiramente na maior parte desses dois anos.

*Este meu jeito de alçar a perna
De mirar ao longe o horizonte largo
É o contraponto de beber auroras
Quando cevo a alma pra sorver o amargo*
Cristiano Quevedo

Se os fatos em si incluem a pessoa que os observa, então quão mais inevitável é o reflexo da personalidade ao dar conta de métodos e especulações filosóficas? Pela mesma razão, inevitavelmente haverá muito que é subjetivo em toda exposição objetiva da ciência.

Dmitri Ivanovich Mendeleev, 1891, p. vii, v.1

RESUMO

A Tabela Periódica é bastante conhecida e disseminada no ensino e em materiais em geral, mas com escassas discussões contextuais, históricas e epistemológicas. Isso implica a construção de concepções que a entendem como um produto da ciência acabado, inerte de inovações. Não é incomum que se encontre, tanto em livros didáticos quanto em veículos que socializam a ciência, narrativas que resumem a história da Tabela Periódica ao “sonho de Mendeleev”. Nessa perspectiva, descontextualizada e acrítica, é dito que o químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907) a teria “descoberto” em um mero sonho; desconsiderando o processo de seu desenvolvimento, minimizando sua complexidade histórica e epistemológica, além de disseminar — equivocadamente — uma ideia de que sua estrutura é muito menos abrangente e fértil do que por certo é. Assim sendo, essa dissertação tem por objetivo geral desenvolver uma investigação histórico-epistemológica acerca da Tabela Periódica de Mendeleev visando elaborar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que comporte, por meio de uma articulação da História e Filosofia da Ciência (HFC) contemporânea e de princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (TAS), discussões conceituais e relativas à Natureza da Ciência (NdC) sobre essa temática. Dessa forma, ancorando-se nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) e à luz de uma historiografia atual, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa: *Como aspectos de História e Filosofia da Ciência e de Natureza da Ciência relacionados à gênese da Tabela Periódica podem contribuir para discussões de e sobre ciência no ensino de física e química?* A dissertação está estruturada na forma de artigos, nos quais os resgates histórico-epistemológicos perpassam diferentes aspectos estruturantes da Tabela Periódica, dentre eles: analisar o entendimento de elemento como constituinte fundamental do mundo, sobretudo entre os séculos XVI e XVII, e disputas teóricas em seu entorno; outras sistematizações de elementos químicos que surgiram no século XIX; aspectos da vida e obra de Mendeleev que podem ter influenciado o desenvolvimento de sua Tabela em particular; a própria noção de descoberta científica, sua estrutura conceitual e epistemológica. A UEPS desenvolvida comporta considerações histórico-epistemológicas que permearam a construção da Tabela Periódica e discussões relativas à NdC a partir da articulação da HFC contemporânea e de princípios da TAS de Ausubel.

Palavras-chave: Tabela Periódica; Mendeleev; História e Filosofia da Ciência; Natureza da ciência; Ensino de Física; Ensino de Química.

ABSTRACT

The Periodic Table is well-known and widely used in teaching and in general materials, but there are few contextual, historical and epistemological discussions. This implies the construction of concepts that understand it as a finished product of science, inert to innovations. It is not uncommon to find, both in textbooks and in media that socialize science, narratives that summarize the history of the Periodic Table as “Mendeleev’s dream”. From this decontextualized and uncritical perspective, it is said that the Russian chemist Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907) would have “discovered” it in a mere dream; disregarding the process of its development, minimizing its historical and epistemological complexity, in addition to disseminating — mistakenly — an idea that its structure is much less comprehensive and fertile than it certainly is. Therefore, this dissertation has the general objective of developing a historical-epistemological investigation about Mendeleev's Periodic Table, aiming to develop a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU) that includes, through an articulation of the contemporary History and Philosophy of Science and principles of David Ausubel's Theory of Meaningful Learning (TML), conceptual discussions and related to the Nature of Science. Thus, anchored in the epistemological (modern philosophy of science), educational (TML principles) and methodological (PMTU) and in the light of a current historiography, the following research problem is presented: How can aspects of History and Philosophy of Science and Nature of Science related to the genesis of the Periodic Table contribute to discussions of and about science in the teaching of physics and chemistry? The dissertation is structured in the form of articles, in which historical-epistemological analyses will cover different structuring aspects of the Periodic Table, including: analyzing the understanding of the element as a fundamental constituent of the world, especially between the 16th and 17th centuries, and theoretical disputes surrounding it; other systematizations of chemical elements that emerged in the 19th century; aspects of Mendeleev's life and work that may have influenced the development of his Table in particular; the very notion of scientific discovery, its conceptual and epistemological structure. The PMTU developed includes historical-epistemological considerations that permeated the construction of the Periodic Table and discussions related to the Nature of Science based on the articulation of the contemporary History and Philosophy of Science and principles of Ausubel's TML.

Keywords: Periodic Table; Mendeleev; History and Philosophy of Science; Nature of Science; Physics Teaching; Chemistry Teaching.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	12
	REFERÊNCIAS.....	20
1	MÁGICO-VITALISMO, ALQUIMIA E OUTRAS VISÕES DE MUNDO: UM BREVE ESTUDO HISTÓRICO SOBRE CONCEPÇÕES DE MATÉRIA ATÉ O SÉCULO XVI.....	25
1.1	INTRODUÇÃO.....	25
1.2	CONCEITOS DE ELEMENTO: UM BREVE SUMÁRIO DE PERSPECTIVAS QUE CIRCULARAM ATÉ O SÉCULO XIV.....	29
1.3	MÁGICO-VITALISMO E OUTRAS VISÕES DE MUNDO: ALGUMAS PONDERAÇÕES SOBRE A MATÉRIA.....	36
1.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
	REFERÊNCIAS.....	44
2	CONSIDERAÇÕES HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICAS ACERCA DO CONCEITO DE ELEMENTO: ALGUMAS PERSPECTIVAS QUE CIRCULARAM DO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA ATÉ AS PRIMEIRAS DÉCADAS DO SÉCULO XIX.....	49
2.1	INTRODUÇÃO.....	49
2.2	PREÂMBULOS DE NOVAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A MATÉRIA: REFLEXÕES SOBRE A IDEIA DE ELEMENTO NO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA.....	53
2.3	ÁTOMOS E ELEMENTOS: OUTROS ASPECTOS DE ESTUDOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS SOBRE A MATÉRIA.....	57
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS.....	66
3	CLASSIFICAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS NO SÉCULO XIX: UM RESGATE HISTÓRICO NA BUSCA POR UMA CORRELAÇÃO ENTRE O PESO ATÔMICO DOS ELEMENTOS E SUAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	70
3.1	INTRODUÇÃO.....	70
3.2	PRIMEIRAS CLASSIFICAÇÕES DO SÉCULO XIX: RELAÇÕES NUMÉRICAS ENTRE O PESO ATÔMICO DE ELEMENTOS E A DISSEMINAÇÃO DAS TRÍADES.....	72

3.3	A INEXISTÊNCIA DE UM CONSENSO QUÍMICO: A IMPORTÂNCIA DO CONGRESSO DE KARLSRUHE.....	76
3.4	OS REFLEXOS DO CONGRESSO DE KARLSRUHE E OS PRIMEIROS SISTEMAS — QUASE — PERIÓDICOS.....	84
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	REFERÊNCIAS.....	94
4	<i>ELEMENTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS ENVOLVIDOS NA CONSTRUÇÃO DA TABELA PERIÓDICA DE DMITRI IVANOVICH MENDELEEV</i>	99
4.1	INTRODUÇÃO.....	99
4.2	DMITRI IVANOVICH MENDELEEV.....	102
4.3	<i>PRINCIPLES OF CHEMISTRY</i> E A TABELA PERIÓDICA DE MENDELEEV. 106	
4.4	“A RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS E SEUS PESOS ATÔMICOS”: A TABELA E A LEI PERIÓDICA DE MENDELEEV APRESENTADAS À COMUNIDADE CIENTÍFICA.....	112
4.5	UMA BREVE MENÇÃO À DISPUTA DE PRIORIDADE ENTRE MENDELEEV, MEYER E A PERIODICIDADE QUÍMICA.....	120
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
	REFERÊNCIAS.....	125
5	LEI PERIÓDICA, ELEMENTOS QUÍMICOS E DESCOBERTAS CIENTÍFICAS: PONDERAÇÕES A PARTIR DE NORWOOD HANSON E THOMAS KUHN	129
5.1	INTRODUÇÃO.....	129
5.2	THOMAS KUHN E A INSEPARABILIDADE DO CONTEXTO DA DESCOBERTA E DA JUSTIFICATIVA: UMA ESTRUTURA PARA DESCOBERTAS CIENTÍFICAS.....	133
5.3	UMA TAXONOMIA DE NORWOOD HANSON PARA AS DESCOBERTAS CIENTÍFICAS.....	140
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	149
	REFERÊNCIAS.....	151
6	UMA UEPS SOBRE A TABELA PERIÓDICA DE DMITRI IVANOVICH MENDELEEV: POTENCIALIDADES DIDÁTICAS DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E DE ASPECTOS DE NATUREZA DA CIÊNCIA NO ÂMBITO DA GRADUAÇÃO EM FÍSICA E QUÍMICA	155

6.1	INTRODUÇÃO.....	155
6.2	PRINCÍPIOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL: UM REFERENCIAL EDUCACIONAL.....	157
6.3	AS UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS DE MOREIRA.....	160
6.4	A UEPS: <i>ELEMENTOS</i> DE CONSTRUÇÃO DA TABELA PERIÓDICA DE DMITRI I. MENDELEEV.....	162
6.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	172
	REFERÊNCIAS.....	174
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	178
	REFERÊNCIAS.....	187

INTRODUÇÃO

O século XX pode ser considerado um marco na ciência quando se pensa nas subversões ocorridas no âmbito filosófico e epistemológico, os quais foram campos de inovadoras reflexões com publicações de Gaston Bachelard, Karl Popper, Ludwik Fleck, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend, Norwood Hanson, além de tantos outros. Entre as ponderações feitas *sobre* ciência e, em alguns casos, *de* ciência (em nível de conceitos), há o papel primordial dos contextos das pesquisas, sobre o qual se busca um olhar cada vez mais crítico ao positivismo, ao empirismo lógico, à historiografia tradicional; concepções que predominavam até então e encaravam a ciência de forma ahistórica e quase sobre-humana. A análise do empreendimento científico foi, assim, enriquecida com críticas à suposta existência de *um* método científico, descrições menos superficiais e dogmáticas acerca da construção de conhecimentos, considerações relativas à inseparabilidade dos contextos da descoberta e da justificativa, o reconhecimento da dependência que a observação científica tem com as teorias (isto é, a não neutralidade do ato de observação), a aceitação de que, em maior ou menor medida, fatores externos influenciam a ciência e os cientistas, o enaltecimento da coletividade da atividade científica etc.

A partir desse marco epistemológico e das necessidades político-educacionais que surgiram após a Segunda Guerra Mundial, a literatura vem enfatizando a importância de uma educação científica que discuta não apenas os produtos da ciência, mas também seus contextos de construção (Matthews, 1995; Peduzzi, 2001; Silva; Gastal, 2008; Teixeira; Greca; Freire Junior, 2012; Moura, 2014; Raicik; Peduzzi, 2015; Cardoso; Forato; Rodrigues, 2019). Com isso, inúmeros trabalhos e pesquisas têm indicado a necessidade de um ensino mais contextual, que explore, a título de exemplo, aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC) (Allchin, 2011; Forato; Pietrocola; Martins, 2011, Peduzzi; Raicik, 2020). A NdC é um campo bastante amplo de exploração e caracterização da ciência que se articula com diferentes perspectivas *sobre* ela; como a social, a cultural, a epistemológica, a histórica entre outras, permitindo distintas e significativas reflexões. Descrever o que é a NdC se mostra uma atividade bastante árdua e se questiona, inclusive, a viabilidade (e necessidade) de defini-la sem ambiguidades ou imprecisões, perante a amplitude que apresenta. De qualquer forma, pode-se dizer, de forma geral, que ela constitui “um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da ciência” (Moura, 2014, p. 33).

Discussões sobre a NdC no ensino podem auxiliar na desconstrução de visões acríticas e limitadas do empreendimento científico, como aquela que o apresenta como um espaço governado rigidamente por *um* método e por gênios (homens, brancos, geralmente estadunidenses ou europeus) que *descobrem* verdades absolutas. Além de pouco inclusivas, visões de ciência como essas conferem um caráter simplista e linear a ela. Uma possibilidade de abordar e exemplificar aspectos relativos à NdC é por meio da História e Filosofia da Ciência (HFC) (Mathews, 1995; Moura, 2014; Peduzzi; Raicik, 2020; Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022; Batista, 2022; Jorge, 2022). A partir de episódios históricos, devidamente contextualizados, é viável, por exemplo, investigar características da atividade científica, resgatar contribuições de estudiosos esquecidos, analisar a influência de fatores internos e externos à ciência e seu desenvolvimento (inclusive, ponderar a inocuidade de separá-los plenamente), desmistificar idealizações que a afastam de sua inerente humanidade etc.

Por certo, são grandes os desafios encontrados quando se visa utilizar a HFC no ensino, quer com articulação à NdC ou não. Sem dúvida, esse resgate didático deve ser feito com responsabilidade historiográfica. Recortes realizados com superficialidades que, em nome de uma reconstrução didática, escolhem apenas os fatos que corroboram a ciência do presente, desconsiderando teorias e estudiosos do passado em seus devidos contextos, fazem uso de uma má história no ensino. Essa perspectiva, fruto de um recorte tendencioso e presentista, refere-se a uma pseudo-história (Mathews, 1995). Como enaltece o historiador da ciência Helge Kragh em sua obra “Introdução à historiografia da ciência”, não se referindo especificamente ao ensino, mas ao próprio historiador, “com o presentismo, o passado nunca pode ser uma finalidade em si próprio”, pelo contrário; lamentavelmente, inspeciona-se esse passado “através dos olhos de hoje [...] tendo os problemas de hoje como ponto de partida” (2001, p. 53).

Outrossim, há casos em que episódios da história da ciência sofrem tantas modificações para que possam ser utilizados em contexto escolar, ou para adequarem-se a ideologias, que perdem sua essência, mostrando-se como uma falsa história. Essa concepção, que se afasta dos registros históricos para servir a interesses e desejos escusos, denomina-se de quasi-história (Withaker, 1979). O whiggismo¹, outra forma de descaracterização histórica, busca no passado traços de ciência contemporânea, analisando anacronicamente os acontecimentos desse empreendimento tão dependente dos contextos sócio-histórico-cultural. Ademais, há os casos em que se visa representar os cientistas a partir de um heroísmo, de

¹O termo whiggismo deriva da palavra whig, que foi utilizada pela primeira para descrever uma história anacrônica pelo historiador Herbert Butterfield (Martins, 2005).

certo modo com tons proféticos, que os isolam de seu contexto e excluem os demais estudiosos que integravam a comunidade científica da época; nesse caso, fica-se diante de uma perspectiva historiográfica hagiográfica (Allchin, 2004; Martins, 2005). Essas distorções e até falsificações da história são muito prejudiciais a uma aprendizagem significativa *de* ciência e *sobre* ela.

Por isso a necessidade de resgatar a história da ciência, em situações didáticas, em articulação com posturas historiográficas e filosóficas contemporâneas. Assim, a história pode contribuir para evidenciar a ciência como um empreendimento essencialmente humano, dinâmico e em constante construção; constante no sentido de contínua exploração e reflexão, e não de um movimento linear. Como bem ressalta Kragh, “foi a história da ciência em particular que nos ensinou que a crença positivista numa ciência livre de considerações valorativas e culturalmente independente é um mito” (2001, p. 45). Além disso, a HFC pode auxiliar na significação de equações para além de simples algoritmos utilizados para a resolução de problemas, oportunizar ao aluno um incremento à sua cultura geral, apresentar aos estudantes diversas modificações que o pensamento e a cultura material científica sofreram ao longo dos séculos — isto é, em seu âmbito teórico e experimental — e lidar, inclusive, com concepções alternativas (Peduzzi, 2001).

A Tabela Periódica dos Elementos Químicos, por exemplo, é bastante conhecida e disseminada no ensino e em materiais em geral, mas com escassas discussões contextuais, históricas e epistemológicas. Ela costuma ser apresentada como uma reunião sistemática de elementos químicos, um trabalho há muito acabado. Geralmente, no ensino básico, ela se encontra fixada nas paredes de laboratórios ou em anexos de livros para ocasionais consultas. Apesar de ser correntemente conhecida, sua história de construção é, na maioria das vezes, tratada com um simplismo exagerado e grosseiro; quando não, reduzida a um mero sonho do químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907) (Strathern, 2002; Santos; Mól, 2005; Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022). Essa falta de contextualização acerca do processo de seu desenvolvimento, além de minimizar a sua complexidade histórica, acaba passando a equivocada ideia que a sua própria estrutura é muito menos abrangente e fértil do que por certo é. Brito, Rodríguez e Niaz (2005) e Mehlecke *et al.* (2012), a título de exemplo, constataram que livros didáticos do ensino superior e da educação básica, em geral, não possuem uma narrativa do contexto histórico que permeia um estudo dos elementos químicos, a gênese da Tabela Periódica, sua publicação e posteriores modificações — ou quando apresentam, ela se resume a detalhes ínfimos relativos a Mendeleev. Abordagens

reducionistas dessa natureza podem acarretar concepções distorcidas e extremamente limitadas tanto sobre a Tabela em si — como se ela fosse um corpo de estudos acabado, que não se modificou ao longo do tempo (Vianna; Cicuto; Pazianto, 2019) — quanto da própria prática de edificação do conhecimento científico.

A pouca contextualização histórica da Tabela Periódica acaba por minimizar a sua importância e a relevância de sua história de construção. Comumente são esquecidos estudiosos envolvidos em outras sistematizações e as consequências decorrentes delas, como Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, Alexandre É. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, Julius Lothar Meyer (1830-1895) e suas tabelas de elementos. Além disso, ficam desprovidos de discussões e reflexões: i) a própria ideia ou conceitualização de elemento; ii) disputas teóricas, como o peso equivalente *versus* peso atômico, que além do caráter científico também apresentam um viés filosófico, pois impactavam diretamente na concepção de natureza da matéria e na vertente científico-filosófica defendida por aqueles envolvidos no conflito; iii) a transição do contexto alquímico para o químico nos estudos e concepções sobre os elementos químicos; iv) a aceitação da Tabela Periódica no meio científico e sua influência na identificação de novos elementos; v) a mudança na interpretação do sistema periódico (Mendeléeff, 1891; Oki, 2009; Scerri, 2011), entre tantos outros aspectos que um resgate histórico pormenorizado pode evidenciar. Inclusive, cabe destacar, que investigações sobre o próprio Mendeleev, seus esforços, suas ambivalências teóricas, as influências que sofreu e exerceu, os contatos com outros estudiosos, sua vida pública e tantas outras nuances de sua trajetória que, direta ou indiretamente, influenciaram na construção da sua Tabela Periódica, ficam inexploradas em despreziosas menções desse episódio tão rico da história. Isso se torna um infortúnio, já que um resgate conceitual, histórico e epistemológico da Tabela Periódica, a partir de análises de seu processo de construção e com a ampla variedade de conceitos físicos e químicos que envolve, pode contribuir para um ensino cada vez mais reflexivo e contextual.

Discussões dessa natureza poderiam (e deveriam) ser levadas até (mas não somente) à educação básica. Uma possibilidade para que isso aconteça é uma inserção dessas reflexões na formação de professores. O docente, mesmo que inconsciente disso, carrega concepções *de* e *sobre* ciência que influenciarão a maneira como seus alunos irão entendê-la. Estudos desse tipo também se fazem relevantes para bacharelados, que para além do importante reconhecimento histórico e epistemológico do empreendimento em que atuam, com certa

frequência, dirigem-se a públicos diversos através de entrevistas e divulgações de suas pesquisas. Ademais, tendo em vista a forma como as Universidades brasileiras estão estruturadas, esses pesquisadores também ministrarão aulas, tornando ainda mais pertinente que conheçam e reflitam, também, *sobre* a ciência. Por isso, a importância de construção de conhecimentos na área histórica e epistemológica da ciência ainda na graduação. É certo que:

Compreender a evolução do pensamento científico em domínios como a física e a química à luz do pressuposto de que a história de uma ciência, como qualquer outra história, tem diferentes interpretações, de acordo com a filosofia da ciência contemporânea, não dispensa dificuldades, mas enseja um envolvimento seguro e consciente nos caminhos complexos da ciência (Peduzzi, 2015, p. 53).

Para tanto, discussões que permeiam o contexto das primeiras concepções de elementos químicos, considerações histórico-epistemológicas sobre a gênese da Tabela Periódica mendeleeviana, quando levadas ao ensino, precisam ser incorporadas à estrutura cognitiva do aluno e, assim, adquirirem novos significados para eles. Nesse sentido, em termos educacionais, princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel se mostram coerentes para construir propostas entre licenciandos e bacharelados de física e/ou química (Moreira, 2012).

A TAS é uma teoria cognitivista e construtivista, que auxilia no entendimento de como a estrutura cognitiva interage com novos conhecimentos, bem como na compreensão da forma com que eles se relacionam com saberes que já integram essa estrutura (Ausubel; Novak; Hanesian; 1980; Moreira; Masini, 2009). Ausubel destacou duas condições necessárias para que a aprendizagem significativa possa ocorrer. A primeira delas, refere-se à predisposição do sujeito em aprender; isso significa que a pessoa deve querer aprender determinados conceitos e dar significado a eles; o sujeito não precisa, necessariamente, gostar do conteúdo, mas deve querer aprendê-lo e sentir-se capaz disso (Moreira, 2012; 2021). A segunda condição diz respeito ao material didático e à estruturação da aula; ambos precisam ser potencialmente significativos. Essas condições devem ser articuladas aos conhecimentos prévios dos sujeitos, para que a aprendizagem dos novos conceitos possa transcorrer de forma não arbitrária — de tal maneira que ocorra a interação dos conhecimentos novos com outros já presentes na estrutura cognitiva — e substantiva — isto é, interconectando o novo conhecimento aos já existentes, permitindo, assim, novas interações (Paulo; Sousa, 2011). A estrutura cognitiva dos sujeitos e seus conhecimentos prévios são tão importantes que justamente por isso não se pode chamar um material ou uma sequência didática de *significativa*, já que quem dará

significado a eles, com base nos seus conhecimentos existentes, é o próprio sujeito; por isso a alcunha de *potencialmente significativos* (Moreira, 2012).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), propostas por Marco Antonio Moreira (2011), podem auxiliar no desenvolvimento de materiais potencialmente significativos. Inclusive, elas podem ser utilizadas como aporte metodológico da TAS (Damasio, 2017; Raicik, 2019). Moreira (2011) elencou alguns pressupostos que precisam ser pensados e levados em consideração por aqueles que desejam estruturar uma UEPS, são eles: o conhecimento prévio dos sujeitos e a predisposição em aprender; a utilização de organizadores prévios para ancorar o novo conhecimento àqueles já existentes na estrutura cognitiva do sujeito; a relevância da introdução de situações-problema; a estruturação das aulas com base na diferenciação progressiva, reconciliação integradora e consolidação (princípios da TAS); a busca de evidências de aprendizagem significativa pelos alunos e sua utilização como parâmetro para a avaliação; a consideração do papel central do docente como aquele que intermedeia a situação-problema entre os alunos e diagnostica possíveis significados externalizados por eles; a pretensão por uma aprendizagem não mecânica e o entendimento de que para isso ela deve estimular os sujeitos a buscar respostas e construir seus questionamentos e não, simplesmente, memorizar sentenças sem significados; por fim, mas não menos importante, a compreensão de que o ensino deve ter como um de seus pilares o diálogo bilateral e horizontal entre professores e alunos (Moreira, 2011).

Dessa forma, ancorado nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) e à luz de uma historiografia contemporânea, pretende-se responder ao seguinte problema de pesquisa: *Como aspectos de História e Filosofia da Ciência e de Natureza da Ciência relacionados à gênese da Tabela Periódica podem contribuir para discussões de e sobre ciência no ensino de física e química?*

Em vista disso, o objetivo geral da pesquisa é *desenvolver uma investigação histórico-epistemológica acerca da Tabela Periódica de Mendeleev visando elaborar uma UEPS que comporte, por meio de uma articulação da História e Filosofia da Ciência contemporânea e de princípios da TAS de Ausubel, discussões conceituais e relativas à Natureza da Ciência sobre essa temática.*

Para tanto, concebeu-se sete objetivos específicos:

1. Desenvolver um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI;
2. Identificar e analisar algumas perspectivas acerca do conceito de elemento como constituinte fundamental da matéria entre os séculos XVII e início do XIX;

3. Investigar sistematizações de elementos químicos do século XIX, o Congresso Internacional de Karlsruhe e suas influências para o entendimento de matéria e das relações entre peso atômico e propriedades físico-químicas dos elementos até meados da década de 1860;
4. Analisar o desenvolvimento da Tabela Periódica, especialmente no período entre 1860-1870, visando problematizar e possibilitar a desnaturalização de narrativas simplistas, como a do mero sonho de Mendeleev;
5. Evidenciar aspectos relativos à NdC (e.g., inexistência de um método universal, a noção de descoberta, dentre outros) na gênese da Tabela Periódica;
6. Explorar a noção de descoberta científica a partir de considerações de Norwood Hanson e Thomas Kuhn;
7. Desenvolver uma UEPS, voltada a licenciandos e bacharelados de Física e Química, que discuta a Tabela Periódica de Mendeleev de forma histórica, epistemológica e contextual.

A dissertação está estruturada na forma de artigos, a exemplo de outras pesquisas, dentre elas teses, dissertações e TCCs, já desenvolvidas no PPGECT (Raicik, 2015; 2019; Cordeiro, 2011; 2016; Damasio, 2017; Jorge, 2018; 2022; Nascimento, 2022), em outros Programas de Pós-Graduação (Gonçalves, 2002; Freitas, 2007; Teixeira, 2010; Oliveira, 2010; Tavares, 2010; Martins, 2016) e de graduação (Lorenzetti, 2021). A investigação conduzida nesse formato, de acordo com Damasio (2017), auxilia no preparo do estudante para desempenhar o papel de pesquisador, tomando conhecimento sobre a execução de diferentes ações que são realizadas durante a construção de uma pesquisa. Além disso, facilita o alcance do trabalho à comunidade através da sua publicação em periódicos, além de submetê-lo à crítica dos pares, auxiliando em seu aperfeiçoamento. Conforme Raicik (2019), existem, também, desafios a serem enfrentados com uma estruturação dessa natureza; como a conexão lógica entre os capítulos, ao mesmo tempo que se faz necessária uma independência entre eles, já que o leitor do artigo publicado deve identificar no trabalho uma estrutura coesa, com a devida autonomia. Por outro lado, o leitor da dissertação (tese, TCC) precisa compreender a unidade do trabalho; nesse caso, é necessário que se entenda que algumas repetições são inevitáveis. Não obstante, em analogia aos princípios ausubelianos, a repetição da informação, quando bem conduzida, pode promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (Raicik, 2019), podendo facilitar a compreensão de conceitos e ideias pelo leitor da dissertação (tese, TCC) em sua totalidade.

O primeiro capítulo, intitulado *Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI*², apresenta um sucinto resgate histórico-epistemológico de alguns entendimentos de elemento/matéria que estiveram presentes desde concepções dos Gregos antigos, e que permearam a alquimia árabo-europeia na Idade Média, às discussões acerca de uma visão mágico-vitalista. Por fim, o artigo aborda implicações dessas discussões ao ensino de ciências.

*Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século XIX*³ compõe o segundo capítulo do trabalho. O artigo analisa algumas concepções acerca de noções de elemento que estiverem presentes desde o século XVII a meados do século XIX. Nesse sentido, realiza incursões históricas em torno de trabalhos de Pierre Gassendi (1592-1655), Robert Boyle (1627-1691), Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), John Dalton (1766–1844), entre outros. Ao final, são apresentados desdobramentos para o ensino de ciências.

O terceiro capítulo da dissertação, *Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas*, contextualiza sucintamente classificações como a de Johann W. Döbereiner e a sua Lei das Tríades, a de Alexandre E. B. de Chancourtois e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands e a sua Lei das Oitavas, evidenciando como eram variadas as formas pelas quais os estudiosos buscavam uma classificação para os elementos e como observavam por diferentes perspectivas os parâmetros químicos utilizados nessas classificações. Além disso, discute questões relacionadas ao primeiro evento internacional a reunir uma comunidade de químicos, o Congresso de Karlsruhe, que ocorreu em 1860.

Elementos histórico-epistemológicos envolvidos na construção da tabela periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev é o quarto capítulo da dissertação, que aborda aspectos relativos à gênese da Tabela Periódica de Mendeleev. Dessa forma, busca problematizar narrativas simplistas como a do “sonho” de Mendeleev, ou a que resume a história da Tabela a uma mera organização dos elementos em ordem de seu peso atômico. Nesse sentido, analisa partes

²Publicado na revista ACTIO: docência em ciências, v. 9, n. 1, 2024.
<http://dx.doi.org/10.3895/actio.v9n1.17289>

³Submetido à publicação.

do manual científico *Principles of Chemistry* (Mendeléeff⁴, 1891) e o artigo no qual Mendeleev publicou pela primeira vez sua Lei e Tabela Periódica.

Em *Lei periódica, elementos químicos e descobertas científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn*⁵, que constitui o quinto capítulo da dissertação, promove-se discussões centradas em episódios históricos ligados a elementos químicos e à Lei periódica, a partir de noções de Norwood Hanson e Thomas Kuhn. Com o intuito de contextualizar a estrutura conceitual e epistemológica de certas descobertas científicas, traz implicações ao ensino de ciências a partir da NdC.

O sexto capítulo, intitulado *Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre a Tabela Periódica: potencialidades didáticas da História e Filosofia da Ciência e de aspectos de Natureza da Ciência no âmbito da graduação em física e química*, contextualiza princípios tanto da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, quanto das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Apresenta, ainda, o desenvolvimento de uma UEPS voltada a licenciandos e bacharelados de física e química acerca de considerações históricas e epistemológicas envolvidas na gênese da Tabela Periódica.

Nas *Considerações Finais*, enfatiza-se a unidade do trabalho como um todo, o alcance de seus objetivos, a resposta à questão de pesquisa. Na forma de artigos independentes, apresenta uma unidade, que aqui foi evidenciada. Conclui-se com uma discussão sobre as potencialidades abertas pelo trabalho a novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Studies and Science Education**, v. 95, p. 518-542, 2011.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana Ltda., 1980.

BATISTA, C. A. S.; PEDUZZI, L. O. Q. Contextualizando conteúdos científicos fundamentais à compreensão docente e estudantil da relação terra-universo sob a lente

⁴ A grafia do sobrenome de Mendeleev apresenta variações em diferentes fontes consultadas. Nesta dissertação está sendo utilizada a grafia que o próprio Mendeleev utilizava quando fazia o uso do alfabeto latino e também é utilizada por Kedrov (2007) no dicionário de biografias científicas. A opção por referenciar o *Principles* com a grafia “Mendeléeff” foi tomada para manter a concordância com a forma escrita no livro.

⁵Publicado na revista *Ensaio: pesquisa em educação em ciências*, v. 25, 2023 (<https://doi.org/10.1590/1983-21172022240157>) e na *Foundations of Chemistry: Philosophical, Historical, Educational and Interdisciplinary Studies of Chemistry*, v. 26, n. 1, 2024 (<https://doi.org/10.1007/s10698-024-09512-2>).

epistemológica da solução de problemas de Larry Laudan. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 2, 2022.

BRITO, A.; RODRÍGUEZ, M. A.; NIAZ, M. A reconstruction of development of the Periodic Table based on History and Philosophy of Science and its implications for General Chemistry Textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 1, p. 84-111, 2005.

CARDOSO, M. L. D.; FORATO, T. C. M.; RODRIGUES, M. L. L. Ciência e epistemologia em sala de aula: Uma perspectiva histórica para a teoria de Lamarck. **Filosofia e História da Biologia**, v. 14, n. 1, p. 45-78, 2019.

CORDEIRO, M. D. **Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

CORDEIRO, M. D. **Ciência e valores na história da fissão nuclear: potencialidades para a educação científica**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

DAMASIO, F. **A História da Ciência na Educação Científica**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28 n. 1, p. 27-59, 2011.

FREITAS, F. H. A. **Os estados relativos de Hugh Everett III: uma análise histórica e conceitual**. Bahia: UFBA, 2007. Dissertação – Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

GARCIA, R. A encruzilhada da Tabela Periódica. **Revista Fapesp**, n. 277, p. 60-63, 2019.

GONÇALVES, M. L. C. **Helmintos, protozoários e algumas idéias: novas perspectivas na paleoparasitologia**. Rio de Janeiro: FOC, 2002. 125 f. Tese – Doutorado em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

JORGE, L. **Na formação de professores e cientistas, uma HQ sobre aspectos da NDC e imagens: encantar-se com os entre-(en)laces**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

JORGE, L. **Um expo(r)-(po)sições art(Sci)culado: as transformações da ciência que perpassam pelas artes visuais e se materializam na forma de quadrinhos para a formação de licenciandos(as) e bacharelados(as) em física**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022.

KRAGH, H. **Introdução à Historiografia da Ciência**. Porto: Porto Editora, 2001

LORENZETTI, C. S. **Um resgate histórico da tabela periódica e discussões relativas à natureza da ciência:** uma interface entre a divulgação e a educação científica. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2021.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; DAMASIO, F. “O sonho de Mendeleiev” e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.15, n. 2, p. 209-236, 2022.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 02, p. 305-317, 2005.

MARTINS, L. **Abordagens da saúde em livros didáticos de Biologia:** análise crítica e proposta de mudança. Bahia: Universidade Federal da Bahia, 2016. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, 2016.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-224, 1995.

MEHLECKE, C. M.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 521-545, 2012.

MENDELÉEFF, D. **The Principles of Chemistry**. Londres; Nova Iorque: Longmans, Green, and Co., 1891.

MENDELEEV, D. The relation between the properties and atomic weights of the elements. **Journal of the Russian Chemical Society**, v. 1, 1869⁶.

MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? **Revista Currículum**, v. 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. Ensino de Ciências: críticas e desafios. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 1-10, 2021.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2009.

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

⁶Менделѣва, Д. Соотношеніе свойствѣ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ. **ЖУРНАЛЫ РУССКАГО ХИМИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА**, томъ. I, 1869.

NASCIMENTO, L. P. **Jocelyn Bell Burnell e os pulsares: um estudo histórico-epistemológico para a educação científica.** Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022.

OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009.

OLIVEIRA, A. M. P. **Modelagem matemática e as tensões nos discursos dos professores.** Bahia: UFBA, 2010. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PAULO, I. J. C.; SOUZA, C. M. S. G. **A teoria da aprendizagem significativa e seus desdobramentos na dinâmica de ensinar e aprender ciências.** Cuiabá: UAB/UFMT, 2011.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr.** Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, (revisado em julho de 2019), 2015.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay.** Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino.** Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. (coord.). **Química & Sociedade.** São Paulo: Nova Geração, 2005.

SCERRI, E. R. A review of research on the history and philosophy of the periodic table. **Journal of Science Education**, v. 12, n. 1, p. 4-7, 2011.

SILVA, C. C.; GASTAL, M. L. Ensinando ciências e ensinando a respeito das ciências. *In: Quanta ciência há no ensino de ciências*, p. 35-44, 2008.

STRATHERN, P. **O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química.** Rio de Janeiro: Zahar, 2002.

TAVARES, A. **Isoxazolinas. Uma classe de materiais avançados revisitada.** Porto Alegre: UFRGS, 2010. 287 f. Tese – Doutorado em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JUNIOR; O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de história e filosofia da ciência no ensino.** Natal: EDUFRN, 2012. p. 9-40.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem conceitual no ensino de física.** Bahia: UFBA, 2010. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

VIANNA, N. S.; CICUTO, C. A. T.; PAZINATO, M. S. Tabela Periódica: concepções de estudantes ao longo do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 4, p. 386-393, 2019.

WHITAKER, M. A. B. History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II. **Physics Education**, v. 14, 1979.

1 MÁGICO-VITALISMO, ALQUIMIA E OUTRAS VISÕES DE MUNDO: UM BREVE ESTUDO HISTÓRICO SOBRE CONCEPÇÕES DE MATÉRIA ATÉ O SÉCULO XVI⁷

Resumo: A história da ciência é um corpo de conhecimento plural, não apenas pela sua intrínseca amplitude teórica, reflexiva e metodológica, como também pelo seu complexo e diversificado objeto de estudos: a ciência. A construção de simples preâmbulos históricos que contam apenas as narrativas daqueles que tiveram seus resultados perpetuados é uma pseudo-história, que exclui saberes e estudiosos que, direta ou indiretamente, participaram da construção de conhecimentos. No que se refere à história dos estudos sobre a matéria, desde os gregos antigos, com os mais tenros registros de ciência, é possível encontrar escritos que dissertam sobre a constituição do mundo. Da mesma forma que os alquimistas tinham suas próprias maneiras de entender a matéria. Nesse sentido, este artigo sumariza algumas visões de elemento/matéria que estiveram presentes na Grécia Antiga e que permearam a alquimia árabo-europeia na Idade Média. Além disso, apresenta discussões acerca da visão mágico-vitalista, principalmente a partir do Renascimento, com o intuito de evidenciar como concepções desenvolvidas pelos estudiosos, ancoradas nessa corrente filosófica, foram essenciais para o entendimento de matéria naquele período e para a construção de um contexto que possibilitou o surgimento, no século XVII, de um conceito de elemento no período da ciência moderna. Por fim, são apresentadas implicações ao ensino de ciências.

Palavras-chave: Matéria. Elemento. História e Filosofia da Ciência. Mágico-vitalismo.

1.1 INTRODUÇÃO

A história da ciência é um corpo de conhecimento plural, não apenas pela sua intrínseca amplitude teórica, reflexiva e metodológica, como também pelo seu complexo e diversificado objeto de estudos: a ciência. É bastante comum encontrar em livros didáticos, na divulgação e no jornalismo científico e em materiais em geral, certos resgates históricos, de natureza *whiggista*, anacrônicos, utilitaristas, que enaltecem apenas os produtos da ciência; que excluem traços importantes de seu contexto de desenvolvimento em prol de uma reconstrução “lógica” e “racional” (Pena; Teixeira, 2013; Schmiedecke; Porto, 2015; Roxael; Diniz; Oliveira, 2015; Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022).

⁷Artigo publicado na revista ACTIO: Docência em Ciências. <http://dx.doi.org/10.3895/actio.v9n1.17289>

A construção de simples preâmbulos históricos que contam apenas as narrativas daqueles que tiveram seus resultados perpetuados é uma história vil, que exclui saberes e estudiosos que, direta ou indiretamente, participaram da construção de conhecimentos. Afinal, “uma teoria não deixa de ser científica porque foi descartada; no período de sua vigência ela constituiu um corpo de conhecimento coerente, com poder explicativo e preditivo, que explicitou uma maneira de ver e compreender o mundo físico, os fenômenos naturais” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 30).

Por certo, como a literatura vem defendendo há anos, a História e Filosofia da Ciência (HFC), quando assumida com devidas vigilâncias historiográficas e epistemológicas, pode contribuir proficuamente tanto no ensino de ciências quanto em sua divulgação nas suas variadas formas (Peduzzi, 2001; Matthews, 1995; 2014; Forato; Pietrocola; Martins, 2011; Teixeira; Greca; Freire, 2012; Damasio; Peduzzi, 2017; Raicik, 2019; Leite; Cortela; Gatti, 2021; Lima *et al.*, 2022; Jorge, 2022; Mulinari, 2022). Além de auxiliar em uma melhor compreensão de conceitos científicos, pode viabilizar reflexões acerca de aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC) (Gil Pérez *et al.*, 2001; Moura, 2014; Peduzzi; Raicik, 2020). Assim, elementos sociológicos, além daqueles filosóficos e históricos, culturais, econômicos, geográficos, relativos às práticas científicas, podem auxiliar em um aprendizado mais robusto tanto do conteúdo científico em si, quanto de fatores encadeados que propiciaram sua construção. Afinal, aspectos dessa natureza influenciam o investigador, os estudiosos, desde os tempos mais remotos.

A própria pergunta “o que constitui as coisas?”, um questionamento que acompanha a humanidade há tempos, esteve (e está) intrinsecamente ligada ao contexto cultural — incluso o filosófico, científico, social — de distintos períodos ao longo da história. Com maior ou menor nitidez, pode-se identificar uma veia idiossincrática nas pesquisas e uma intersubjetividade, a depender da comunidade científica do período em que o conhecimento foi desenvolvido.

Quando se olha para a história dos estudos da matéria, dos distintos conceitos de elemento, por exemplo, encontra-se um grande vitral constituído de cacos de vidro, de tamanhos, formas e coloridos variados, feito por diferentes pessoas que carregam possibilidades teóricas e filosóficas de sua época. No momento em que se observa a luz atingir esse vitral — observação essa dotada de lentes historiográficas atuais que se opõem àquelas positivistas — é possível perceber uma mescla de cores pela sua passagem, mostrando um entrelaçamento de conceitos ao longo dos séculos. Mas também, é possível

apreciar tonalidades e combinações novas, visto que “o pensamento científico se modifica com o tempo” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 29). Não é legítimo isolar apenas um feixe de luz monocromático que passa nesse vitral sem ao menos considerar os outros, e tampouco o vitral em si, só porque ele se assemelha a cor que se quer enxergar. Isto é, não é pertinente analisar partes da história da matéria — e outras na ciência — escolhendo teorias e estudiosos que se destacam apenas por se ajustarem de alguma forma com as concepções atuais, isso reduz, inclusive, o legado do próprio conhecimento.

Como salienta o historiador da ciência Helge Kragh, em sua obra “Introdução à historiografia da ciência”, pode-se “avaliar e compreender melhor a nossa própria ciência contemporânea, em seu contexto social, com a ajuda do conhecimento de sua história” (1987, p. 39, tradução nossa). Uma elucidação contextual de como surgiu o conceito de “elemento moderno”, por volta do século XVII, por exemplo, demanda, de forma significativa, que se olhe para o passado resgatando práticas intelectuais que remontem ao estudo da matéria. Assim, partindo de um ideal diacrônico, mas tendo consciência de que esse olhar se encontra munido de certas lentes do presente, é possível explorar concepções que surgiram em antigas civilizações, como com os gregos, e em diferentes culturas de pensamento, como aquela relativa à alquimia, e, dessa forma, observar, ponderar e refletir como visões sobre a matéria foram sendo construídas e como foram influenciando umas as outras.

Desde os gregos antigos, com os mais tenros registros de ciência, é possível encontrar escritos que dissertam sobre a constituição do mundo. São exemplos disso, Thales de Mileto (640-562 AEC) e a sua interpretação de que a água é uma substância primordial formadora de tudo que existe, Anaximandro (611-545 AEC) e o *Apeiron*, Empédocles de Agrigento (492-432 AEC) e os quatro elementos, Leucipo de Mileto (460-370 AEC) e Demócrito de Abdera (470-380 AEC) e os átomos, etc. Em todos esses casos, é possível identificar influências de suas observações cotidianas e também da filosofia em que eles eram iniciados (Peduzzi, 2019b).

Também os alquimistas tinham suas próprias formas de interpretar a matéria e observar as coisas que os cercavam. Tradições alquímicas, como a chinesa e a egípcia, foram inspiração para trabalhos de estudiosos como DJabir ibn Hayyan, alquimista árabe, que pensou a constituição dos metais a partir dos princípios “mercúrio” e “enxofre” (Goldfarb, 1987). A esses princípios foi adicionado o “sal” pelo alquimista persa Al-Razi (854-925 EC); que, em conjunto, foram posteriormente utilizados pelos espagiristas, que os classificaram como *tria prima*.

Kragh (1987) enaltece que “se alguém agora cometer o erro bastante óbvio de acreditar que a teoria dos princípios do enxofre-mercúrio dos alquimistas era uma teoria baseada no que hoje entendemos por elementos com os mesmos nomes, a teoria parecerá especulativa e completamente idiota” (p. 95, tradução nossa). Em termos químicos atuais, por exemplo, a água é uma mistura (H_2O , sais minerais, impurezas e outros), o ar uma mistura (de gases), a terra é um conjunto de substâncias e o fogo é um plasma de fragmentos moleculares (íons e radicais) em estados excitados, uma concepção, é claro, que nada tem a ver com a ideia aristotélica (ou de Empédocles) dos quatro elementos, que deve ser apreciada no contexto de sua época (Calado, 2011). São princípios, visões de mundo que, se não conceitualmente, compartilham o desejo de compreender do que são feitas todas as coisas. Em outras palavras, isto quer dizer que se faz necessário, no âmbito de uma historiografia atual, que se tenha discernimento do contexto em que o conhecimento foi construído, levando em consideração valores e questões da época em que as ideias foram elaboradas, sem que se abdique do olhar crítico do presente; analisando e ponderando a relevância da história desse conceito, em suas distintas redes conceituais.

Aproximando-se do Renascimento, no que concerne ao estudo da matéria, são frequentes as discussões que relatam uma mudança de perspectiva brusca de uma subjetividade, caracterizada pelo mágico-vitalismo, para um racionalismo, representado pelo mecanicismo, por exemplo. Contudo, com um olhar mais atento e cuidadoso da história, é possível encontrar evidências de que essa passagem não foi abrupta, nem linear. Ademais, o vitalismo permaneceu nos estudos de muitos intelectuais, sendo uma corrente estruturante de diversas teorias. O próprio Robert Boyle (1627-1691), considerado por muitos um mecanicista ferrenho, apresentou traços de vitalismo em seus trabalhos que foram centrais para o desenvolvimento de seus estudos sobre a matéria — ao constituir uma das bases para o que ficou conhecido como “elemento” no período da ciência moderna, concebido como aquilo que não pode ser decomposto (Banchetti-Robino, 2011).

Sendo assim, a história da ciência torna-se um importante arcabouço de conhecimentos que, aliada a outras disciplinas, propicia a valorização de aspectos centrais para o entendimento de como são articuladas as partes envolvidas na construção de conhecimento. “Se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem de ciência que atualmente nos domina” (Kuhn, 2018, p. 59). Isto é, se faz necessária a utilização da história como meio problematizador e reflexivo, indo além de meras descrições “impessoais”,

ahistóricas, apolíticas e lineares que alguns relatos se propõem a fazer. Uma historiografia contemporânea da ciência, que caminha em laços fortes com a filosofia e a sociologia da ciência, permite que se analise episódios históricos não apenas no âmbito de seus conceitos, mas em toda uma rede de fatores que influenciaram a construção desses saberes e vice-versa. Desse modo, é importante que se delimite um recorte histórico; a divisão da história não é algo natural, é uma escolha do pesquisador, de acordo com suas necessidades analíticas. Conforme Kragh, “a periodização expressa uma avaliação de um todo que abrange passado, presente e futuro” (Kragh, 1987, p. 77, tradução nossa), ou seja, mobiliza traços culturais do passado e influencia a estruturação de uma pesquisa.

Em vista disso, este trabalho sumariza algumas visões de elemento/matéria que estiveram presentes na Grécia Antiga e que permearam a alquimia árabo-europeia na Idade Média. Em continuidade, são trazidas discussões acerca da visão mágico-vitalista, principalmente a partir do Renascimento, com o objetivo de evidenciar como concepções desenvolvidas pelos estudiosos, ancoradas nessa corrente filosófica, e que são compreendidas como subjetivas ou até mesmo “não científicas”, foram essenciais para o entendimento de matéria naquele período e para a construção de um contexto que possibilitou o surgimento, no século XVII, de um conceito de elemento no período da ciência moderna. Por último, apresenta implicações dessas discussões ao ensino de ciências, sobretudo visando problematizar e refletir aspectos *sobre* a ciência, sempre tão necessários.

1.2 CONCEITOS DE ELEMENTO: UM BREVE SUMÁRIO DE PERSPECTIVAS QUE CIRCULARAM ATÉ O SÉCULO XIV

O questionamento “O que constitui o mundo?” vem acompanhando a humanidade por milênios, despertando a curiosidade de pessoas em diferentes civilizações e contextos. A história da ciência, perpassando por sua fértil construção ocidental com os gregos antigos, proporciona o conhecimento de diversas composições que o mundo já teve, não porque a natureza da matéria se modificou, mas pela numerosa gama de pensadores que refletiram sobre os constituintes primordiais do ambiente que os rodeava a partir de múltiplas perspectivas.

Thales de Mileto (640-562 AEC), por exemplo, construiu sua teoria de mundo a partir da qual tudo se originaria de uma mesma substância, a água, já que é um elemento primordial para a vida da fauna e flora e também pela ampla gama de formas que a água pode tomar

(hoje, estados físicos da água). Thales vivia na região jônica da Grécia antiga, onde possuía contato cotidiano com a água, seja em suas caminhadas na costa do mar Egeu, quer pelo seu conhecimento das cheias do rio Nilo. Existem poucos registros preservados desse filósofo, contudo é bastante razoável supor que a sua proposta não veio de uma *tabula rasa*; isto é, sua proposição surgiu carregada de pressupostos; não é neutra, foi influenciada por seu contexto geográfico e intelectual.

Já Anaximandro (611-545 AEC) argumentou que através da água não se conseguiria explicar as propriedades de coisas como a poeira e que, dessa forma, o elemento primordial seria outro; utilizando apenas a água como matéria primordial, seria difícil explicar a qualidade oposta da água: esta é úmida, seu oposto é seco. O elemento que elucidaria a complexidade e variedade do mundo seria o *Apeiron*, substância da qual tudo se originaria, mas que seria indefinida, tanto é que seu nome significa *indeterminado*. Anaximandro criticou a perspectiva de Thales, pois para ele se a Terra fosse sustentada pela água, esta deveria estar sustentada sobre outra coisa, que também precisaria de outra sustentação e assim por diante. Dessa forma, o *Apeiron*, que permeava tudo infinitamente, resolveria o problema da *regressão ao infinito*. Não obstante, essa é uma visão que limita e não compreende a completude da concepção de Thales; a água, como uma substância primordial, não precisaria, em essência, ser sustentada por outra coisa.

Seguindo a linha de raciocínio de Thales, tem-se Anaxímenes (585-528 AEC), para quem o elemento constituidor de todas as coisas seria o ar. Assim, o que explicaria a multiplicidade das formas e suas características seria a rarefação desse elemento: o fogo seria um ar muito rarefeito, enquanto que os sólidos seriam um ar pouco rarefeito ou condensado. Das qualidades frio-quente e úmido-seco, opostos que a matéria assumia em determinadas proporções, ele explicou apenas a primeira com êxito: a característica “frio” e “quente” seria elucidada pela movimentação do ar. Anaxímenes visualizou esse fenômeno a partir da saída de ar pela boca: quando o ar é soprado com a boca muito aberta, ele sai lentamente e quente; quando o ar é soprado com a boca quase fechada, ele sai com mais pressão (mais rápido) e frio.

Também o fogo foi pensado como origem de todas as coisas. Heráclito de Éfeso (579-480 AEC) imaginou que tudo aquilo que se conhece teria vindo de uma espécie de fogo imaterial. Entretanto, diferentemente dos filósofos citados anteriormente, Heráclito entendia o fogo mais como um representante da dinamicidade da matéria, de sua constante mudança, do que de sua constituição propriamente dita.

Xenófanes de Cólofon (570-460 AEC) acreditava que o elemento originário seria a terra. A partir dela, que dava sustentação a tudo, a diversidade das substâncias seria explicada. Xenófanes tentou não recair no problema da *regressão ao infinito* dizendo que a Terra era sustentada pela substância terra que continuava infinitamente abaixo de seu chão. Entretanto, essa conjectura entrou em conflito com uma perspectiva grega bastante corrente da época: a de que a Terra era finita e esférica. (Peduzzi, 2019a; 2019b; Ferreira, 2013).

Brevemente, esses exemplos mostram pensadores que adotaram uma visão monista de constituição da matéria. Em outras palavras, esses estudiosos consideraram que toda a matéria seria formada por uma única substância. Além disso, eles associavam características sensíveis e qualitativas dessas substâncias com as coisas que eles podiam observar ao seu redor, como Thales observando a grande massa de água do mar Egeu e a vida nascendo da terra proporcionada pela fertilidade oriunda das cheias do rio Nilo; ou Anaxímenes utilizando experiências do seu cotidiano para generalizar a explicação de um comportamento da matéria (a saída de ar pela boca). Com efeito, por meio de analogias empíricas e observacionais, vê-se que as observações são impregnadas de constructos teóricos (Raicik; Peduzzi, 2023).

Empédocles de Agrigento (492-432 AEC), no entanto, defendeu que a variedade e complexidade do mundo era tal que não poderia ser entendido a partir de um único elemento. Com isso, originou-se a teoria dos quatro elementos, na qual as coisas eram constituídas por uma combinação dos elementos água, terra, fogo e ar em diferentes proporções. Cerca de um século mais tarde, Aristóteles (384-322 AEC) apropriar-se-ia dessa ideia, restringindo-a as coisas da Terra, e a aprimoraria no âmbito do desenvolvimento do seu sistema filosófico natural (Ferreira, 2013). Os estudos aristotélicos alcançaram distintas áreas das ciências naturais, que exerceram influências na própria ciência moderna; em associação com suas concepções, ele conferiu grande ênfase à observação qualitativa; à contemplação.

Para Aristóteles, as coisas da Terra seriam compostas de combinações variadas entre os quatro elementos; assim suas características seriam definidas a partir de uma proporção maior ou menor deles. O filósofo também propôs a existência de um quinto elemento, chamado de éter; ele constituiria os corpos do mundo supralunar, ou seja, os corpos celestes que estão acima da Lua, enquanto que os outros quatro elementos formariam o mundo sublunar, por isso chamados de elementos terrestres (Ferreira, 2013; Peduzzi, 2019a).

Cada elemento, em sua forma pura, teria o seu lugar natural em um universo hierarquicamente organizado, como o de Aristóteles. Os objetos terrestres, seriam misturas desses elementos. Assim, tem-se, então, a terra e a água na região central do universo, sendo

que a água se localiza acima da terra por ser menos densa do que ela; *mais leve*. É por esse motivo também que tanto materiais sólidos (“de terra”) quanto a água “caem para baixo”, pois estão indo em direção ao seu local natural. Dessa forma, por exemplo, ao se soltar uma pedra (constituída essencialmente do elemento terra) de certa altura, ela se movimenta em direção ao solo, para retornar ao seu local natural. A seguir vem o ar, menos denso e que pode ser “observado subindo” ao seu local natural ao aferventar certos líquidos. E, por último, acima do ar está o fogo; este pode ser visto ascendendo ao seu lugar quando se observa uma chama: a chama sempre aponta para cima (Rocha *et al.*, 2002). Os elementos aristotélicos, inclusive, faziam parte do seu pensamento para o funcionamento físico dos deslocamentos; cada um dos elementos teria um lugar natural e isso explicaria o seu movimento.

Também houve aqueles que pensaram em uma constituição do mundo abstrata, como Pitágoras de Samos (570-497 AEC) que, em uma tentativa de matematizar a natureza, concluiu que o mundo seria governado por números. Para Platão (428-347 AEC), o mundo seria formado a partir de entes matemáticos, triângulos isósceles e equiláteros que, quando combinados, formariam os poliedros regulares — estruturantes da Natureza. É importante salientar que, diferentemente dos filósofos anteriormente citados, os pitagóricos e os platônicos estavam interessados em estudar/compreender como a forma das coisas estavam associadas a alguma estrutura abstrata, mas que não comporiam diretamente a matéria. Por isso, eles eram chamados de teleologistas ou filósofos da forma, enquanto que os outros citados anteriormente (Thales, Anaximandro, Anaxímenes, Heráclito, Xenófanes, Empédocles, Aristóteles) eram materialistas ou filósofos da matéria (Peduzzi, 2019b).

Ademais, foi nessa mesma região — geográfica e cultural: a Grécia Antiga — que surgiu a teoria atômica da matéria no ocidente. Leucipo de Mileto (460-370 AEC) lançou as bases para o atomismo e seu discípulo, Demócrito de Abdera (470-380 AEC), desenvolveu essas ideias. Segundo eles, a matéria “[...] não é contínua. Ela é constituída de ‘germes’ eternos, minúsculas partículas duras, indestrutíveis, indeformáveis, inacessíveis ao olho humano. Por concebê-las como as menores subdivisões possíveis da matéria, foram chamadas de átomos” (Peduzzi, 2019a, p. 15). Os átomos não teriam atributos físicos, porém suas formas e agrupamentos dariam as características macroscópicas que os sentidos humanos eram capazes de experienciar. Outros filósofos adotaram esse posicionamento apesar da vasta aceitação das ideias aristotélicas, que com ela contrastavam, como foi o caso de Epicuro (341-270 AEC), que atribuiu peso aos átomos e com isso buscou explicar outros fenômenos não

abordados por Leucipo e Demócrito, como as diferenças de densidade dos materiais e a queda dos objetos.

Apesar de ter sofrido alguns desenvolvimentos posteriores, a teoria atomista não se manteve como fonte de interpretação da matéria entre os estudiosos. Com raras exceções, a grande maioria deles adotou uma visão aristotélica de matéria e de mundo, que foi perpetuada por séculos na Europa, principalmente depois de ter sido adaptada pela Igreja Católica, que na época era culturalmente hegemônica na região. Não obstante, em uma ciência tão dinâmica e plural, mesmo em um período de relativa estagnação da ciência, na Idade Média, foram surgindo e/ou se consolidando outras maneiras de estudar o mundo, como a alquimia, que em maior ou menor medida, não deixou de incorporar teses aristotélicas aos seus pilares filosóficos e práticos.

A alquimia, surgida de forma independente em muitas civilizações, como aquelas que habitavam a Mesopotâmia, a Índia e a China — ou que resultou da mescla de culturas, como a alquimia egípcia e a persa, que sofreu variadas influências, não apenas de alquimias mais antigas, mas de religiões praticadas nas terras que ocupavam — também refletia sobre a constituição da matéria (Goldfarb, 1987). Ela não foi um corpo de conhecimento homogêneo; passaram-se milênios e distintos contextos históricos desde o seu surgimento até o aparecimento de um pensamento filosófico mecanicista que questionou vários de seus pressupostos fazendo com que, aos poucos, não se sustentasse mais. Contudo, pode-se notar algo em comum nessa arte prática presente em diversos espaços-tempo: seus iniciados tinham como um dos objetivos alcançar a pedra filosofal ou o elixir, que auxiliaria na transmutação de metais ordinários em ouro e/ou seria benéfico à saúde das pessoas, em alguns casos a tal ponto que seria o suficiente para deixá-las imortais (Goldfarb, 1987; Peduzzi, 2019a).

Dentre suas distintas vertentes, a alquimia atrelou estudos da área da filosofia natural para auxiliar na construção de uma visão de mundo. Por exemplo, a concepção de Heráclito de Éfeso, de que o fogo, pela sua dinamicidade, explicava a diversidade das substâncias e suas transformações, influenciou alquimistas a pensar o constante devir da matéria e a ideia de *movimento* em suas práticas alquímicas, quando da utilização do fogo. A propósito, concepções de Aristóteles sobre a composição dos objetos e substâncias a partir dos quatro elementos, mostravam-se bastante úteis para pensar a ideia de transmutação, já que, em princípio, mudando as proporções desses quatro elementos nos materiais, poder-se-ia chegar a outras substâncias (Maar, 1999).

Os primeiros registros alquímicos remontam, aproximadamente, ao século IV AEC, contudo, dentre os materiais melhor preservados, e que foram mais amplamente difundidos, estão os dos árabes, datados do século VII EC. Os árabes desse período receberam forte influência da alquimia chinesa, alexandrina e islâmica. Além disso, eles tinham posse de escritos filosóficos clássicos gregos e interagiam com diversas culturas a partir de seus movimentos de dominação (Goldfarb, 1987).

Entre os alquimistas árabes, é importante referenciar a perspectiva de Djibir ibn Hayyan, que viveu entre os séculos VIII e IX EC. A alquimia sempre esteve muito ligada à forja de metais e ao estudo de sua composição, pela sua preocupação em obter o mais perfeito dos metais: o ouro. Dessa maneira, ocupava-se em buscar entender a constituição desses metais, pois se acreditava que entendendo de que eles eram feitos, seria possível realizar transformações (leia-se transmutações) e então chegar ao ouro. Djibir introduziu os princípios “mercúrio” e “enxofre” para explicar a constituição dos metais que, quando combinados em diferentes proporções e graus de pureza, resultavam em distintos metais (Goldfarb, 1987); ainda, “quando puros e integrados no mais perfeito dos equilíbrios naturais, estes princípios gerariam o ouro, o mais nobre” deles (Peduzzi, 2019a, p. 33). É importante salientar que esses princípios não eram entendidos como os elementos químicos modernos “mercúrio” e “enxofre”; mas representavam a metalicidade e a combustibilidade dos materiais, respectivamente, como frisado.

A partir dos princípios “enxofre” e “mercúrio” formavam-se, quando combinados em diferentes proporções, segundo Djibir, os *sete metais* da teoria alquímica; perspectiva que remete a registros surgidos junto aos chineses, porém difundida a muitas outras doutrinas alquímicas. De acordo com essa teoria existem sete metais na natureza, que são classificados por ordem de pureza, sendo o mais puro e equilibrado deles o ouro, como enfatizado. Não era incomum, aliás, que eles fossem correlacionados a saberes da astrologia, tanto que cada um dos sete metais possuía planetas análogos, compartilhando, inclusive, suas simbologias. Em ordem de pureza de classificação tem-se: ouro (Sol)⁸, prata (Lua), cobre (Vênus), ferro (Marte), mercúrio (Mercúrio), chumbo (Saturno) e estanho (Júpiter). Na obra djibiriana, o mercúrio (o metal, não o princípio) foi trocado pelo *khar sini*, que era conhecido como ferro chinês, contudo não se sabe ao certo a qual substância moderna ele corresponderia (Holmyard, 1957).

O alquimista Al-Razi (854-925 EC) adicionou a esses princípios, um outro: o “sal”, que também não é o sal como entendido/conhecido atualmente, mas um componente que

⁸ Naquele período, se classificava o Sol e a Lua como planetas.

representa a solidez e incombustibilidade dos corpos (Peduzzi, 2019a). Isto é, os metais seriam formados não apenas pelos princípios do “mercúrio” e do “enxofre”, mas também pelo princípio do “sal”. Essa é uma concepção que aparece bastante na literatura tardia da alquimia, com Paracelso, por exemplo (Holmyard, 1957).

No âmbito da Europa, notoriamente a Europa ocidental, os textos clássicos gregos começaram a retornar ao continente, nos idiomas árabe e grego, fortemente a partir dos séculos XI e XII. Foi com esse intercâmbio cultural proporcionado principalmente pelo contato com os árabes, através da reconquista de terras iniciando pela península ibérica, que a alquimia foi gradualmente sendo difundida na Europa (Rocha *et al.*, 2002). A partir disso, surgiram diversas vertentes da prática da “Grande Arte”, a saber, a alquimia, mesclando conhecimentos construídos através de materiais que chegavam ao continente, com os costumes locais. Muitos estudos envolvendo a matéria nesse período, portanto, estiveram ligados com a prática alquímica. “Em vários momentos da história da física [e da ciência], tornam explícitas ‘interessantes conexões entre ideias científicas, pressupostos filosóficos, concepções religiosas e culturais que variam com a época e com a cultura subjacente’” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 30).

Assim, os textos clássicos foram reintroduzidos na Europa e a alquimia passou a ser difundida fortemente a partir do século XII. Culturas que entram em contato com novos conhecimentos acabam ressignificando alguns de seus aspectos para que estejam de acordo com aquilo em que acreditam e defendem. Não foi diferente com os escritos aristotélicos na Europa, que já haviam passado por uma releitura com os mouros e árabes. Intelectuais ligados à Igreja Católica, por exemplo, adaptaram os estudos do filósofo grego para que eles fossem ao encontro do que a instituição pregava (Rocha *et al.*, 2002). Do mesmo modo, na alquimia, essas reinterpretações e adaptações eram feitas, como no caso da crença na transmutação dos metais interpretada a partir dos quatro elementos, pois de acordo com preceitos aristotélicos “não se poderia fazer o ‘ser’ do ‘não ser’, tornando impossível transformar um mineral em outro que não esteve presente em potência no primeiro” (Goldfarb, 1987, p. 131). Roger Bacon (1220-1292 EC), que seguia os ensinamentos de Aristóteles, visou resolver o impasse da transmutação argumentando que os metais que não tinham um balanço perfeito eram metais nobres, só que acometidos com “doenças”; com o elixir adequado esses metais seriam “tratados” e então tomariam sua forma “sã”.

Essas breves menções exemplificam que diversas civilizações se preocuparam com a constituição do mundo, das coisas, da matéria. Grupos de pensadores de diferentes épocas

foram condicionados a realizar esses pensamentos a partir da filosofia natural, religião, organização social, cultural e outros parâmetros que os cercavam; certamente, esse *pensar o mundo* pelos estudiosos, de uma forma ou de outra, influenciou e foi influenciado pela sociedade em que eles estavam inseridos.

Isso, aliás, pode ser evidenciado com as diferentes formas de interpretar as práticas alquímicas — que estiveram presentes na Idade Média — ou as tentativas de retomada do atomismo, com os estudos de William de Ockham (1300-1350 EC) e Nicholas de Autrecourt (1300-1350 EC), a título de exemplo, que, em termos gerais, visaram aliar a perspectiva atomista de matéria (entender a constituição do mundo a partir de partículas elementares) com a religião seguida por eles (o catolicismo), junto a críticas severas aos estudos aristotélicos. Todavia, ideias como essas foram reprimidas pelas instituições dominantes até meados do século XV. Os estudos de De Ockham e De Autrecourt foram queimados e eles precisaram se retratar publicamente por suas teorias e pensamentos (Ferreira, 2013). Na ciência, existem “pesquisas que são apoiadas e outras desencorajadas, censuradas ou mesmo proibidas dependendo do contexto em que se encontram” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 30).

Conquanto, novos sistemas filosóficos foram surgindo a partir do século XVII, que contestam e/ou advogam pela insuficiência do aristotelismo. O empirismo de Francis Bacon, com seu método indutivo experimental, e o mecanicismo de René Descartes (1596-1650 EC), foram exemplos disso. Descartes prioriza a razão sobre o experimento; advoga uma maneira de encarar o mundo como uma máquina, algo que se pode *desmontar* — isto é, separar as partes do todo para análises — e explicar. O mecanicismo cartesiano “é uma filosofia que postula que todos os fenômenos naturais devem ser explicados pelas leis da matéria em movimento. A matéria, em si, é inerte, passiva, liberta de qualidades ocultas ou finalísticas” (Peduzzi, 2019c, p. 28). Isto é, uma visão que concorria, para além do empirismo baconiano, com sua contemporânea, consolidada anteriormente, conhecida como mágico-vitalista; esta carregava uma visão holística do mundo.

1.3 MÁGICO-VITALISMO E OUTRAS VISÕES DE MUNDO: ALGUMAS PONDERAÇÕES SOBRE A MATÉRIA

O mágico-vitalismo foi uma cosmovisão bastante antiga difundida entre diversas civilizações. Por esse motivo foi heterogênea em suas diferentes interpretações. Em suma, é possível dizer que essa foi uma concepção que se utilizou de princípios de magia (dos tipos

mais diversos que podem ser encontrados ao longo da história) e do vitalismo, para compreender relações dos seres vivos com a natureza e, em alguns casos, entre seres não vivos também (Goldfarb, 1987). O vitalismo esteve presente nos meios intelectuais até meados do século XIX, entendendo os seres vivos como aqueles dotados de uma *força* ou *energia vital* (Chang, 2011). É importante destacar que apesar dessa cosmovisão estar presente ao longo da história da humanidade, como frisado, neste trabalho, em particular, serão enfatizados alguns de seus aspectos a partir do Renascimento. Nesse período, o mágico-vitalismo já se ligava a círculos de estudiosos que se utilizavam dessa filosofia para buscar uma compreensão mais profunda dos fenômenos da natureza, considerando principalmente fenômenos ligados à matéria (Chang, 2011).

Durante o período entre os séculos XVI e XVII, são passíveis de identificação dois tipos de doutrinas mágico-vitalistas; uma delas referia-se ao vitalismo de um ponto de vista cósmico, que tinha como inspiração o *anima mundi* de Platão⁹ e o pneuma dos estoicos¹⁰, segundo as quais havia um espírito universal que permeava e animava todas as coisas que estavam presentes no Universo. Ou seja, tratava-se de uma visão que defendia que existe algo externo aos corpos que faz com que eles sejam animados. A outra esteve ligada a uma versão de vitalismo imanente, na qual o vitalismo “era considerado uma alma, um espírito ou uma forma [que emanava no próprio corpo] e era frequentemente visto como uma ‘semente’ implantada na unidade básica da substância viva” (Chang, 2011, p. 324, tradução nossa). Além do mais, essa versão de vitalismo estava correlacionada com o conceito de *semina rerum* — termo em latim que quer dizer “semente das coisas” — em que essa “semente” estava presente em todas as coisas e assim elas teriam em si mesmas os princípios de sua própria geração. Importa destacar que essas visões não eram dicotômicas, pois era comum que os vitalistas usassem as duas concepções para abranger as explicações de sua cosmovisão (Banchetti-Robino, 2011).

É indispensável notar como novas formas de interpretar a matéria foram surgindo sem que conhecimentos do passado sejam renunciados. Os estudiosos Renascentistas não “inventaram a roda” novamente; esse conhecimento construído não surgiu de uma *tabula rasa*. Por isso, focar um resgate histórico somente em “grandes descobertas” ou “grandes pioneiros” da ciência e excluir de sua narrativa tanto contextos passados quanto o que foi necessário para eles se estabelecerem, recai em uma história da ciência presentista, *whiggista*

⁹Isto é, seu conceito de alma do mudo, o qual pode ser entendido como uma “energia” presente no universo que provê força e movimento aos corpos (Nunes, da Silva, 2009).

¹⁰Um “fluido com propriedades análogas à mistura de ar e fogo” e “que penetra todos os corpos e preenche os espaços entre eles” (Abrantes, 1990, p. 36).

e, quando não, em uma a-história (Kragh, 1987). “Desde o alvorecer da ciência, o interesse do estudioso pelas obras de seus predecessores é *sine qua non* (condição indispensável) para o desenvolvimento do seu trabalho” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 38).

A visão mágico-vitalista e a alquimia estiveram fortemente ligadas, tanto que é comum encontrar referências à cosmovisão dos alquimistas como sendo mágico-vitalistas. Isso porque, ambas consideravam a existência de uma *energia vital* que, operando junto às pessoas era passível de realizar transformações na natureza. É importante ressaltar que existem diferenças entre essas duas doutrinas, porém muitas das práticas e ensinamentos da alquimia fazem parte de uma perspectiva mágico-vitalista. Isso se faz presente, sobretudo, na concepção holística de experiência na prática alquímica, na qual “os experimentos” não poderiam ser analisados ou executados em partes, que é costume em práticas do início da ciência moderna. Para eles, o resultado só poderia ser alcançado a partir de uma união do todo que compõe a experiência (natureza, ambiente, mente do experienciador, aparatos, entre outros) (Goldfarb, 1987). Ademais, os alquimistas também utilizavam os conceitos de *anima mundi* e *semina rerum* (isto é, a “alma do mundo” platônico e a “semente das coisas”, como mencionado anteriormente) para interpretar o comportamento da matéria em suas práticas. Isso quer dizer que eles entendiam que existia tanto algo externo aos corpos, que poderia animá-los, como, dentro dos próprios corpos, supunha-se que emanava uma *energia vital*, capacitando-os a desenvolverem ações sobre o mundo. Apesar de a alquimia e o mágico-vitalismo estarem fortemente ligados, nem todos os alquimistas eram mágico-vitalistas. Chang (2011) chama a atenção para estudos alquímicos importantes — a teoria de matéria do pseudo-Geber, por exemplo — que não apresentavam aspectos mágico-vitalistas, mas atomistas. Dentre os conceitos que esses alquimistas corpusculares se apropriaram é possível citar o de *minima naturalia*, que concernia às menores partículas possíveis existentes na natureza, isto é, partículas que não poderiam ser reduzidas ou repartidas em outras.

Do século XIV em diante, os europeus iniciaram um processo de transformação de preceitos medievais e começaram a construir um caminho para o período que ficou conhecido como Renascimento. É de suma pertinência destacar que a cultura intelectual foi se modificando a partir dos grandes acontecimentos sociais do período, como as derrotas nas cruzadas, a gigantesca epidemia de peste bubônica e seus surtos secundários, revoltas internas, problemas relacionados à falta de trabalhadores atrelado à estagnação do crescimento populacional. Esses aspectos (e muitos outros relacionados ao período)

exerceram influência no modo de pensar da população e, conseqüentemente, na forma como eles *viam* a natureza e as relações ao seu redor (Goldfarb, 1987; Lindberg, 2002).

Mesmo com progressivo estabelecimento da ciência moderna, no campo dos estudos sobre a matéria, a teoria alquímica permaneceu como uma fonte de ocupação dos estudiosos, seja a partir de uma cosmovisão mágico-vitalista ou aquela corpuscular. Cabe destacar, também, que apesar de algumas interpretações alquímicas se utilizarem da teoria corpuscular para interpretar suas práticas, ainda preservavam preceitos tradicionais da alquimia, como a pedra filosofal ou o elixir e a crisopoeia¹¹. Ainda assim, puderam ser observadas modificações no que tange à aplicação das práticas alquímicas e a suas áreas de concentração nesse período.

Importa ressaltar alguns termos que começaram a surgir a partir do século XVI. Com os movimentos renascentistas, houve um aumento das preocupações em nomear e classificar as áreas de estudos e os próprios estudiosos. Na Antiguidade, as práticas envolvidas com a metalurgia relacionando preceitos místicos, a transmutação dos metais, a busca pela pedra filosofal, enfim, coisas que hoje são classificadas sobre a alcunha de *alchimia* (alquimia), eram chamadas de *chemeia* ou *chymeia*, que derivou do termo grego para fundição de metais *cheein*. Posteriormente, os estudiosos árabes adicionaram o artigo definido “al” à palavra transliterada *kimiya*, chegando ao termo *al-kimiya*. Depois, nas línguas latinas *al-kimiya* tornou-se *alchymia* (ou *alchimia/alchemia*) (Newman; Principe, 1998).

Por sugestão de alguns estudiosos, dentre eles Georgius Agricola (1494-1555) — importante alquimista que tinha conhecimentos nas áreas de medicina e mineralogia e que frequentemente mesclava conceitos de uma e outra para o tratamento de doenças (Asimov, 2003) — com um suposto objetivo de “purificar” a língua, isto é, inibir termos adicionados por outras culturas, a palavra *alchemia* passou a ser grafada *chemia*. Por esse motivo, era bastante comum encontrar nos trabalhos os dois termos *alchemia* e *chemia*, sendo utilizados indistintamente como sinônimos. Quer dizer, nesse período não existia separadamente uma disciplina, ou um campo de estudos “química” (*chemia*) e “alquimia” (*alchemia*) (Newman; Principe, 1998). Além disso, outros termos foram surgindo, como a iatroquímica, que se referia a *alchemia/chemia*, associada ao diagnóstico de doenças e sua cura através de remédios (produzidos através de práticas alquímicas).

Ademais, ainda no século XVI, ressalta-se Paracelso, um espagirista — o termo espagirista é designado para referir-se tanto a Paracelso quanto aos alquimistas que seguiram

¹¹Nome típico, derivado do grego *khrusopoia* (gold-making/fazer ou obter ouro), dado a busca pelo ouro através das transformações de metais ordinários, seja pela transmutação, seja pelo uso direto da pedra filosofal/elixir.

suas práticas (Newman; Principe, 2002; Bensaude-Vincent; Simon, 2012)¹². Por algum tempo, inclusive, espagiria tornou-se sinônimo da própria palavra alquimia. Na espagiria, além de utilizar os preceitos da *tria prima* para pensar não somente a composição dos metais, mas também de minerais e outros produtos naturais utilizados na cura e/ou tratamento de doenças, Paracelso desenvolveu uma relação entre os planetas e os órgãos humanos, algo que também auxiliaria no diagnóstico de doenças e que já poderia ser encontrado na milenar medicina chinesa (Holmyard, 1957). Ademais, outra preocupação dos espagiristas eram as práticas que poderiam acessar a matéria para estudá-la. Para eles, a *síntese* e a *análise* dos materiais eram centrais para o seu estudo.

No período do século XVI, praticantes da *alchemia/chemia* utilizavam diferentes concepções para pensar a matéria e suas transformações; concepções essas que foram sendo cada vez mais desenvolvidas e trabalhadas à luz do contexto cultural e científico da época. Por exemplo, os espagiristas utilizavam em sua grande maioria a *tria prima* para pensar a constituição das coisas do mundo e o diagnóstico e tratamento de doenças, apesar de que não ignoravam a teoria aristotélica já muito trabalhada por outros alquimistas. Os iatroquímicos, por sua vez, utilizavam-se mais da teoria aristotélica dos quatro elementos, mas haviam aqueles que também utilizam a *tria prima*; não havia regras restritivas nesse sentido (Holmyard, 1957; Goldfarb, 1987). Paracelso, inclusive, foi considerado tanto um iatroquímico, por fazer parte desse grande grupo de alquimistas que envolviam elementos de *alchemia/chemia* com a saúde, como, conforme ele próprio se intitulou, espagirista, demarcando, assim, sua visão particular de alquimia (Ball, 2006). Também nesse período surgiram teorias que explicavam a transmutação dos metais a partir de pequenos corpúsculos, que efetivamente realizariam a transmutação: a transformação de metais ordinários em metais nobres. Geralmente, nesses casos, é possível não encontrar preceitos mágico-vitalistas fazendo parte da construção teórica da alquimia (Newman; Principe, 1998).

Essas sucintas ponderações evidenciam olhares para a matéria com um nível de complexidade indubitável. Essas visões não apenas refletiam como essa matéria poderia se comportar e como seria sua natureza, mas também davam finalidades práticas para esses estudos, como sua ligação de longa data com a medicina.

Paracelso, por exemplo, ancorou-se em três diferentes concepções de matéria para explicar os fenômenos da natureza: *matéria-prima*, teoria dos quatro elementos e teoria dos princípios. Ele entendia que a matriz de composição das coisas do mundo era formada pela

¹²Há indícios, inclusive, que o próprio Paracelso cunhou o termo espagiria para designar as práticas baseadas em sua interpretação singular de alquimia (Holmyard, 1957).

*matéria-prima*¹³, que nesse caso era considerada a água, e os outros três elementos, terra, fogo e ar. Contudo, foi com a teoria dos princípios (ancorada na *tria prima*) que o estudioso fez suas maiores contribuições. Com seu entendimento de que o “sal” conferia a característica sólida aos materiais, o “enxofre” a inflamável e o “mercúrio” a fluída, ele relacionou esses princípios ao corpo, a alma e aos espíritos. Dessa forma, através dos princípios, o *espírito vital* seria capaz de realizar transformações na natureza e no próprio corpo humano, desenvolvendo toda uma base para a iatroquímica (Bianchi, 1994; Levere, 2001; Banchetti-Robino, 2011).

Girolamo Fracastoro (1478-1553 EC), contemporâneo de Paracelso, utilizando-se do conceito de *semina rerum* e do atomismo de Leucipo e Demócrito, desenvolveu uma teoria sobre a propagação de doenças. Segundo ele, a causa para as doenças transmissíveis abrigava-se no conceito de *semina rerum*, isto é, pequenas “sementes da doença”, que tinham a potência de desenvolvê-la, se propagariam pelo ar e contaminariam outras pessoas (Banchetti-Robino, 2011).

Para Sebastien Basso (1573-s/i EC), todos os fenômenos eram causados pelo rearranjo e movimento dos átomos. Apesar de parecer uma perspectiva bastante próxima do mecanicismo, para ele esse movimento era dado pelo *espírito vital* das coisas, um espírito não material e não mecânico. Basso, que era seguidor das ideias de Paracelso, também desenvolveu uma espécie de conceito primitivo da teoria molecular, entendendo a matéria como um arranjo de átomos¹⁴ (Banchetti-Robino, 2011).

Ainda em uma perspectiva paracelsonianiana cabe destacar Jan Baptista van Helmont (1579–1644 EC), que desenvolveu uma outra forma de entender os fenômenos da matéria. Van Helmont iniciou seus estudos buscando uma interpretação corpuscular materialista para os fenômenos da natureza, pensando em termos de tamanho, formato e movimentação de corpúsculos. Contudo, ele entendeu que somente esses parâmetros não seriam os responsáveis por explicar as reações nos compostos, pois não levavam a uma “síntese pura”. Para ele, essas reações aconteciam através de algo que ele chamou de “fermentos”, presentes no *semina rerum*, “Esses fermentos são eles próprios agentes espirituais formativos” (Banchetti-Robino, 2011, p. 179, tradução nossa). Por conseguinte, a formação do vapor de água se daria por uma modificação qualitativa nos corpúsculos da água, que teriam mudanças nas proporções de *tria*

¹³Para ele essa matéria-prima teria vindo de uma criação divina, na qual entendia-se que Deus seria um praticante supremo da alchemia/chemia com o poder de criar as coisas “do nada” (Banchetti-Robino, 2011).

¹⁴É importante lembrar que independentemente de Basso, seu contemporâneo Issac Beeckman (1588-1637) também chegou a esse conceito molecular de matéria.

prima (princípios) em sua composição, não sendo uma modificação mecânica, mas qualitativa.

Embora não seja objeto de análise neste artigo, mas sim de um outro trabalho, cabe ressaltar que, no âmbito do século XVII, em Robert Boyle, símbolo do mecanicismo, ainda se pode encontrar fenômenos sendo explicados a partir de “espíritos” e “fermentos”. Com isso, inclusive, Boyle conseguiu dar uma interpretação mais mecanicista à transmutação, isto é, ele também associava princípios do mágico-vitalismo e da alquimia com outras correntes de pensamento, como a mecanicista (Shapin; Schaffer, 1985; Goldfarb, 1987; Levere, 2001; Banchetti-Robino, 2011).

Frisa-se, em síntese, a importância de valorizar as histórias presentes na ciência respeitando as práticas e os costumes da época. Enaltecer uma história da ciência atemporal, destacando apenas os traços culturais que reforçam uma ciência moderna, leva a um grave ocultamento de aspectos fulcrais de natureza da ciência; sem eles, constrói-se uma história linear, exageradamente simplificada e lacunosa no que concerne ao desenvolvimento do próprio pensamento científico. Ora, excluir características tidas como subjetivas ou não pertencentes ao pensamento científico atual, como o mágico-vitalismo, é, sobretudo, fazer uma historiografia torpe.

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um contextualizar, ainda que sucinto, de como concepções de elemento foram desenvolvidas e modificadas ao longo do tempo, pode evidenciar não apenas uma maneira de compreender como os estudiosos observavam e exploravam o mundo e entendiam a constituição das coisas, mas também sobre suas convicções filosóficas mais profundas, como se buscou mostrar, ao menos até o século XVI.

A mescla de fatores mágico-vitalistas com explicações por vezes atomistas e/ou mecanicistas constituiu uma base, uma história, para o que seria entendido por elemento no período da ciência moderna. Percebe-se com isso que reflexões, pesquisas e buscas sobre a constituição da matéria não remontam apenas aos gregos antigos ou a Boyle, mais comumente lembrado, e seus contemporâneos. Existiam visões de mundo plurais e estruturadas filosoficamente que permitiram uma interpretação e uma implementação prática desses estudos sobre a matéria, alguns dos quais, inclusive, relacionados com a alquimia.

No âmbito do ensino, distintos trabalhos na literatura apontam para a necessidade de se ampliar discussões e noções sobre o conceito de elemento e de outros que estão a ele ligados, como o de substância, mistura, reações químicas (Lucena; Souza; Campos, 2012; Silva; Amaral, 2016; Santos; Lima; Sarmiento, 2017; Leite; Cortela; Gati, 2021). O resgate aqui desenvolvido, até o século XVI, pode contribuir nesse sentido. Afinal, a história da ciência pode auxiliar na compreensão de conceitos como algo situado histórica e culturalmente, não como algo que surgiu “do nada”. O vislumbre da forma como os estudiosos compreendiam os elementos, em outros tempos, pode ser uma maneira de — a partir da história, sua construção e contexto — significar e ressignificar a sua concepção, tanto no período da ciência moderna quanto contemporaneamente. Visto que, “ter um melhor entendimento da ciência e seus processos implica reconhecê-la não apenas como um corpo de conhecimento bem estruturado, mas como uma maneira de ver, pensar e entender o mundo e seus fenômenos, que influencia e é influenciada pelas tradições de conhecimento e de cultura onde ela é praticada” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 21).

Reflexões sobre a própria ciência, suas práticas e dinâmicas podem ser promovidas no ensino com resgates históricos como o que foi feito neste trabalho. Assim, “a ciência do dia se entrelaça com a da noite em uma inseparável mescla de luzes” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 32), isto é, a ciência que aparece reportada em periódicos e manuais científicos (a chamada ciência dura) se mescla àquela produzida nos momentos mais íntimos do pesquisador com seu objeto de pesquisa, envolvendo toda a sorte de subjetividades. Da associação de ambas, resulta a ciência.

É bastante comum que no ensino de ciências, em geral, o conceito de elemento seja tratado como algo a-histórico, que vem atrelado ao estudo dos elementos químicos e dos modelos atômicos. Mesmo que se encontre citações a estudiosos como Boyle, o que segue, normalmente, é uma história não contextualizada, que conta apenas a parte “vencedora” da ciência.

Ressalta-se que “a ciência é uma atividade social complexa. Refletir e discorrer sobre a sua natureza, mesmo em campos mais específicos do conhecimento, é uma tarefa árdua, sempre acompanhada de um sentimento de incompletude face à dimensão do tema” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 47). As ponderações veiculadas a visões de matéria menos conhecidas no ensino, mas nem por isso menos importantes, sobretudo as vinculadas ao mágico-vitalismo, podem contribuir para que aquele vitral, mencionado na introdução, fique mais colorido, mais cheio de formas e combinações de cores.

Discussões como as realizadas neste trabalho, em associação a outras, poderiam auxiliar em um melhor entendimento daquilo que hoje é, praticamente, uma enciclopédia da matéria: a tabela periódica. Essa que, em seu produto, é um constructo teórico amplamente conhecido, mas que tem sua história pouco explorada. A tabela periódica atualmente é vista, muitas vezes, como algo acabado; são poucas as reflexões, em particular no âmbito do ensino, sobre como os elementos químicos foram compondo essa estrutura, sua gênese, como eles foram descobertos (e o que isso significa epistemologicamente), como foi desenvolvido o conceito de elemento, em que a tabela (que não foi única em sua época), foi baseada.

O deslocamento de uma visão presentista e não contextualizada, para uma discussão sobre o passado, visando um entendimento de como foram construídos conhecimentos modernos e contemporâneos sobre elementos e suas relações com o desenvolvimento da tabela periódica, por exemplo, pode ter potencialidade de auxiliar em uma aprendizagem significativa de conceitos e *sobre* a ciência. Embora, aqui, tenha se restringido temporalmente o recorte até o século XVI, esse resgate evidencia, ainda mais, a pertinente ideia de desenvolver uma discussão histórico-epistemológica que abarque desde conhecimentos sobre elementos no período da ciência moderna àqueles que perpassam sistematizações dos elementos químicos no século XIX. Inclusive, nesse período e com o desenvolvimento da ciência, os debates sobre o que é um elemento químico (e sobre a natureza da matéria) ficaram ainda mais calorosos.

Em síntese, resgatar concepções que vão além dos resultados da ciência, que buscam no âmago da história, práticas e diferentes pensamentos em determinados períodos, pode ampliar não apenas a compreensão conceitual, mas inclusive visões sobre a ciência, sobre a sua natureza. No ensino de ciências, isso continua sendo certamente necessário.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, P. C. C. A concepção estóica de natureza e a moderna física do contínuo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 2, n. 1, p. 33-65, 1990.

ASIMOV, I. **Breve historia de la química**: Introducción a las ideas y conceptos de la química. Madri: Paracuellos de Jarama, 2003.

BALL, P. **The Devil's Doctor**: Paracelsus and the world of Renaissance Magic and Science. Nova Iorque: Farrar, Straus and Giroux, 2006.

BANCHETTI-ROBINO, M. P. Ontological tensions in sixteenth and seventeenth century chemistry: between mechanism and vitalism. **Foundations of chemistry**, v. 13, p. 173-186, out., 2011.

BENSAUDE-VINCENT, B.; SIMON, J. **Chemistry: The impure science**. World Scientific, 2012.

BIANCHI, M. L. The visible and the invisible. In: RATTANSI, P.; CLERICUZIO, A. **Alchemy to Paracelsus. Alchemy and Chemistry in the 16th and 17th Centuries**, p. 17-50, Springer Science+Business Media Dordrecht, 1994.

CALADO, J. **Haja luz!:** uma história da química através de tudo. Instituto Superior Técnico, 2011.

CHANG, K. Alchemy as Studies of Life and Matter Reconsidering the Place of Vitalism in Early Modern Chymistry. **Isis**, v. 102, p. 322–329, jun., 2011.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. História e Filosofia da Ciência na Educação Científica: Para Quê? **Ensaio**, v. 19, e2583, 2017.

FERREIRA, L. M. **Atomismo para o ensino de química**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2013.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, abr., 2011.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, 2001.

GOLDFARB, A. M. A. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1987.

JORGE, L. **Um expo(r)-(po)sições art(Sci)culado:** as transformações da ciência que perpassam pelas artes visuais e se materializam na forma de quadrinhos para a formação de licenciandos(as) e bacharelados(as) em física. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022.

HOLMYARD, E. J. **Alchemy**. Harmondsworth: Penguin, 1957.

KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge University Press, 1987.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

LEITE, M. R. V.; CORTELA, B. S. C.; GATTI, S. R. T. As Histórias em Quadrinhos como opção para abordar a História e Filosofia da Ciência no Ensino dos Elementos Químicos: o caso do Lítio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 26, n. 2, p. 313-332, ago., 2021.

LEVERE, T. H. **Transforming matter: a history of chemistry from alchemy to the buckyball**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2001.

LINDBERG, D. C. **Los inicios de la ciencia occidental**. Barcelona: Gràfiques, 2002.

LIMA, N. W. *et al.* A História da Ciência para uma Educação em Ciências do futuro: desafios contemporâneos na América Latina. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 15, n. 2, p. 378-385, jul./dez., 2022.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; DAMASIO, F. “O Sonho de Mendeleiev” e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 209-236, nov., 2022.

LUCENA, R. M. S.; SOUZA, S. R.; CAMPOS, A. F. Concepções alternativas dos alunos iniciantes do curso de medicina veterinária sobre reações químicas: contextos de uma investigação. **Acta Scientiae**, v. 14, n. 3, p. 472-487, set./dez., 2012.

MAAR, J. H. **Pequena história da química: uma história da ciência da matéria**. Primeira parte: dos primórdios a Lavoisier. v. 1. Florianópolis: Papa-Livros, 1999.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, dez., 1995.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching: The contribution of history and philosophy of science**. Routledge, 2014.

MOURA, B. A. O que é a Natureza da Ciência e qual a sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, jan./jun., 2014.

MULINARI, G. E a história da ciência serve para...?: a superação de obstáculos epistemológicos associados ao ensino sobre microrganismos a partir de um episódio da história da ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 15, n. 2, p. 451-468, jul./dez., 2022.

NEWMAN, W. R.; PRINCIPE, L. M. Alchemy vs. chemistry: the etymological origins of a historiographic mistake. **Early science and medicine**, v. 3, n. 1, p. 32-65, jan. 1998.

NEWMAN, W. R.; PRINCIPE, L. M. **Alchemy tried in the fire: Starkey, Boyle, and, the Fate of Helmontian Chymistry**. University of Chicago Press, 2002.

NUNES, A. W. SILVA, M. M. O conceito de alma do mundo no Timeu de Platão. *In*: SEMANA DE INTEGRAÇÃO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, UNICENTRO, 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019a). 205 p.

PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento**: de Thales a Galileu. Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019b). 197 p.

PEDUZZI, L. O. Q. **Da física e da cosmologia de Descartes à gravitação newtoniana**. Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019c). 149 p.

PEDUZZI, L. O. Q; RAICIK, A. C. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19-55, ago., 2020.

PENA, F.; TEIXEIRA, E. Parâmetros para avaliar a produção literária em História e Filosofia da Ciência voltada para o ensino e divulgação das ideias da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, dez., 2013.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica**: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Um Resgate Histórico-epistemológico da Observação Científica: Implicações ao Ensino de Ciências. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. 129-156, maio, 2023.

ROCHA, JFM., *et al.*, org. **Origens e evolução das idéias da física** [online]. Salvador: EDUFBA, 2002. ISBN 978-85-232-1212-4. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

ROXAEL, F. R.; DINIZ, N. P.; OLIVEIRA, J. R. S. O trabalho do cientista nos *cartuns* Sidney Harris: um estudo sob a perspectiva da sociologia da ciência. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. esp., jul., 2015.

SANTOS, R. L. R.; LIMA, J. P. M.; SARMENTO, V. H. V. Concepções de alunos ingressantes no curso de Licenciatura em Química sobre alguns conceitos de soluções. **REnCiMa**, v. 8, n. 3, p. 41-60, jul./set., 2017.

SCHMIEDECKE, W. G.; PORTO, P. A. A história da ciência e a divulgação científica na TV: subsídios teóricos para uma abordagem crítica dessa aproximação no ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 3, set./dez., 2015.

SHAPIN, S; SCHAFFER, S. **Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life**. Princeton UP, 1985.

SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Concepções sobre Substância: Relações entre Contextos de Origem e Possíveis Atribuições de Sentidos. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 70-78, fev., 2016.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. The history and philosophy of science in physics teaching: A research synthesis of didactic interventions. *Science & Education*, v. 21, p. 771-796, nov., 2012.

2 CONSIDERAÇÕES HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICAS ACERCA DO CONCEITO DE ELEMENTO: ALGUMAS PERSPECTIVAS QUE CIRCULARAM DO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA ATÉ AS PRIMEIRAS DÉCADAS DO SÉCULO XIX¹⁵

Resumo: A pergunta “De que as coisas são feitas?” ocupa estudiosos desde os tempos mais remotos. Voltando-se ao início da ciência moderna, no campo dos estudos sobre a matéria, em termos gerais, pode-se situar duas tradições de pesquisa; a primeira delas relativa aos quatro elementos aristotélicos e suas derivações, inclusive reeleitos no âmbito alquímico, e a segunda referente à *tria prima*, sob forte influência paracelsoiana. Não obstante a isso, no século XVII, junto a essas concepções, tem-se a introdução do empirismo baconiano e do mecanicismo cartesiano, que vão conferir resistências à filosofia aristotélica. A retomada do atomismo, igualmente, coloca o átomo no centro de discussões e vem, junto a esse singular fundo filosófico, conferir novos questionamentos aos estudos da matéria, às concepções de elemento. Por fim, também serão trazidas implicações à Educação Científica.

Palavras-chave: Matéria; Átomos; Natureza da Ciência; Ensino de Ciências.

2.1 INTRODUÇÃO

“De que as coisas são feitas?” é uma questão que ocupa estudiosos desde os tempos mais remotos. No âmbito de uma ciência plural e dinâmica, não era de se esperar que tivesse uma simples e única resposta. A história da ciência evidencia isso. Com os gregos, alquimistas, atomistas, espagiristas, iatroquímicos e adentrando-se na ciência atual, tem-se um leque de visões que buscam compreender o mundo, a matéria e, conseqüentemente, apresentam distintos conceitos de elemento.

Desde concepções monistas tendo a água, o ar, a terra, o fogo ou o *apeiron* como constituintes fundamentais da matéria àquelas que combinavam, de alguma forma, elementos para defender a variedade e complexidade do mundo, vê-se diferentes pensamentos que perpassaram a ciência. Os quatro elementos aristotélicos amplamente disseminados por séculos, a *tria prima* (com os princípios “mercúrio”, “sal” e “enxofre”) derivada da alquimia árabe e desenvolvida por espagiristas no século XVI, a ideia de que a matéria é constituída por átomos, estabelecida e desenvolvida na Grécia antiga e retomada, sobretudo, a partir do século XVII (Peduzzi, 2019; Goldfarb, 1987; Chang, 2011; Bensaude-Vincent; Simon, 2012)

¹⁵Artigo submetido à publicação.

— mas não só elas — evidenciam “não apenas uma maneira de compreender como os estudiosos observavam e exploravam o mundo e entendiam a constituição das coisas, mas também sobre suas convicções filosóficas mais profundas” (Lorenzetti, Raicik, Peduzzi, no prelo).

A cosmovisão mágico-vitalista, presente desde tempos remotos e difundida em diversas civilizações, com importantes e fortes ligações com teses alquímicas, também influenciou estudiosos a ponderarem acerca de uma forma de interpretação para a matéria. Uma das principais características dessa visão era a crença de que havia uma *energia vital* que era interna (imane) e/ou externa (cosmológica) aos corpos que fazia com que eles fossem animados. Isso serviu para pensar o comportamento de seres vivos e, eventualmente, não vivos. Nesse último caso, transformações que correspondiam ao âmbito químico e físico poderiam ser pensadas em termos dessa *energia vital* (Banchetti-Robino, 2011; Chang, 2011).

Voltando-se ao início da ciência moderna, no campo dos estudos sobre a matéria, a teoria alquímica permaneceu como uma fonte de ocupação dos estudiosos, seja a partir de uma cosmovisão mágico-vitalista ou corpuscular (Chang, 2011; Goldfarb, 1987; Lorenzetti; Raicik, Peduzzi, 2024). Conquanto, pode-se situar duas tradições acerca dos estudos da matéria nesse período, de modo bastante geral: uma peripatética, com os quatro elementos aristotélicos — inclusive reeleitos no âmbito alquímico — e outros desenvolvimentos dessa teoria; e uma sob influência paracelsiana, com a *tria prima* e suas derivações (Zaterka, 2004, Banchetti-Robino, 2011). Não obstante a isso, no século XVII, junto a essas concepções, tem-se a introdução do empirismo baconiano e do mecanicismo cartesiano, que vão conferir aos estudiosos novos olhares para a compreensão das coisas e resistências à filosofia aristotélica que, apesar de amplamente disseminada, já vinha sofrendo contundentes críticas nesse período. A retomada do atomismo, igualmente, coloca o átomo no centro de discussões e vem, junto a esse singular fundo filosófico, conferir novos questionamentos aos estudos da matéria, às concepções de elemento.

Com Francis Bacon (1561-1626), e sua defesa ao método experimental indutivo, a experimentação passou a ter um papel central como prática científica. Os ensinamentos aristotélicos que predominaram até a Idade Média e o Renascimento, por certo, buscavam o conhecimento pela dedução de princípios primeiros; “a edificação e o desenvolvimento do conhecimento especulativo, contemplativo, de organização empírica e de hierarquização abstrata das coisas, não necessitava, de fato, de experimentos” (Raicik; Peduzzi; Angotti, 2018, p. 112). Segundo Bacon, a investigação científica deveria partir da natureza, do estudo

experimental de seus fenômenos, buscando conhecimento a partir de seus efeitos e não de suas causas. Em outras palavras, “o conhecimento deve ser buscado na própria natureza, à luz da experiência, e não na Bíblia ou nos escritos de Aristóteles” (Peduzzi, 2019, p. 24). A partir dos resultados colhidos pela experimentação é que se deveria sistematizar o conhecimento racionalmente (Zaterka, 2004).

Contemporâneo a Bacon, igualmente primordial para a forma como o pensamento científico se estruturou nesse período, encontra-se René Descartes (1596-1650). Para ele, e contrariamente a uma visão baconiana, ou mesmo aristotélica, o conhecimento se estrutura a partir da razão e não dos sentidos. Ademais, a natureza poderia ser explicada em termos de matéria e movimento. O conhecimento “não parte, como o de Aristóteles e o da escolástica, de um diverso e de um Universo dados, para remontar daí à unidade dos princípios e das causas que é o seu fundamento” na visão de mundo de Descartes. “Para o pensamento cartesiano, o dado é justamente o objeto simples da intuição intelectual, não os objetos complexos da sensação (Koyré, 1963, p. 77).

É à luz dessas novas correntes filosóficas, sendo um admirador e seguidor ferrenho do legado baconiano, que Robert Boyle (1627-1691) vai se opor a qualquer concepção de elemento que limite a constituição da matéria a um número reduzido de substâncias universais (Peduzzi, 2019). Ele acreditava que por meio da experimentação se poderia estruturar uma teoria de matéria consistente, que pudesse abarcar os fenômenos observados. Desenvolvendo seu próprio conceito de elemento, ele mostra, por exemplo, a insustentabilidade da tese aristotélica dos quatro elementos (Zaterka, 2004).

Boyle persuadiu, de forma notável, a identidade do novo praticante científico no século XVII (Fulton, 1932); a partir de uma forte influência baconiana. Aliás, “O químico cético”, publicado em 1661, é um exemplo desses novos tempos na ciência. Na obra, ele desenvolve uma argumentação explicitando a conveniência de seu conceito de elemento, que difere das concepções aristotélicas e espagiristas. Para isso, organiza um diálogo entre um seguidor da teoria dos quatro elementos de Aristóteles, um paracelso defensor da *tria prima*, um estudioso que, no caso, seria o próprio Boyle e uma pessoa interessada na discussão (Peduzzi, 2019).

Apesar de ser mais comumente lembrado nesse período, Boyle não foi o único a buscar uma interpretação para a matéria e a constituição das coisas, do mundo, e a desenvolver um entendimento de elemento. Jean Baptista van Helmont (1580-1644), Pierre Gassendi (1592-1655), Daniel Sennert (1572-1637), Gottfried Leibniz (1646-1716), Jeremias

Benjamim Richter (1762-1807), Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), Joseph Louis Proust (1754-1826), entre outros, de mesmo modo visaram desenvolver concepções sobre a matéria, à luz de seus estudos e de suas concepções filosóficas, religiosas, sociológicas etc.

Diante desse cenário, em que indagações sobre a matéria estavam pautadas, também, em novas concepções filosóficas de mundo, pode-se questionar: “Como os elementos eram entendidos entre os séculos XVII e XVIII? E como essas concepções influenciaram os químicos e estudiosos do século seguinte?” Questões como essas proporcionam reflexões que envolvem as práticas, as investigações, os contextos, as idiossincrasias que influenciaram gerações de estudiosos.

A análise histórica de distintos conceitos de elementos que perpassaram a ciência, pode evidenciar a pluralidade (metodológica, conceitual, filosófica, etc) da ciência, sua construção coletiva, subjetividades e influências das mais diversas naturezas (sociais, culturais, epistemológicas, idiossincráticas etc) que permeiam a comunidade científica e os estudiosos. Além disso, no âmbito do ensino de ciências, uma problematização histórica nesse sentido, além de ser capaz de promover reflexões sobre a natureza da ciência e do trabalho científico, pode contribuir para uma aprendizagem mais significativa do próprio conceito em si. Estudos têm mostrado que muitos conceitos estruturantes da química, como o de elemento, são abstratos e de difícil compreensão (Papageorgiou; Sakka, 2000; Silva; Amaral, 2016; Santos; Lima; Sarmiento, 2017; Colpo; Wenzel, 2021; Oki, 2002). Quando levados ao ensino, seja ele formal ou não, aspectos históricos e epistemológicos, além de conceituais, podem, portanto, auxiliar em uma compreensão mais significativa do desenvolvimento científico e de suas práticas, e não apenas de seus produtos (Forato; Martins; Pietrocola, 2011). Por certo, a história e filosofia da ciência tem se mostrado, ao longo de décadas, de extrema relevância para propiciar, por exemplo, além de compreensões conceituais, reflexões *sobre* a ciência no ensino (Matthews, 1995; Moura, 2014).

A história, quando devidamente refletida e não apenas descrita, pode ser um motor de problematizações sobre a sociedade e a forma como a ciência está nela inserida. Como já enfatizava Thomas Kuhn “[...] a ciência, quando vista a partir de fontes históricas, parece um empreendimento muito diferente do que aparece implícito na pedagogia científica e explícito nos relatos filosóficos usuais [...]” (Kuhn, 2018, p. 28). A história do empreendimento científico permite evidenciar um “[...] empreendimento explicativo, que leva à compreensão e deve, portanto, expor não apenas os fatos, mas também as conexões entre eles (Kuhn, 2018, p. 39). Isto é, estudar *sobre* o empreendimento científico a partir de sua história e não apenas

de seus produtos, enseja um olhar mais dinâmico e humanizado para a ciência, entendendo que suas práticas ultrapassam preâmbulos simplistas com (apenas) encadeamentos (puramente) lógicos.

Assim sendo, considerando a pluralidade do empreendimento científico e, em particular, as especificidades e a abrangência do estudo do conceito de elemento, aliados ao importante papel que essas discussões podem desempenhar ao ensino *de e sobre* ciências, este artigo objetiva evidenciar algumas ponderações acerca de ideias de elemento que estiverem presentes a partir do século XVII até as primeiras décadas do século XIX. Para isso, resgata brevemente perspectivas de estudos sobre a matéria como: a de Gassendi, a concepção de elemento desenvolvida por Boyle e suas incursões em defesa da filosofia corpuscular, por exemplo; a tabela de substâncias simples de Lavoisier, a concepção atomística de Dalton e os desenvolvimentos que vieram posteriormente. Ao final, são apresentados desdobramentos mais pontuais para o ensino de ciências.

2.2 PREÂMBULOS DE NOVAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A MATÉRIA: REFLEXÕES SOBRE A IDEIA DE ELEMENTO NO INÍCIO DA CIÊNCIA MODERNA

A contemplação do ser humano à natureza remonta os mais tenros escritos e gravuras que se tem registro, assim como a sua curiosidade em saber do que as coisas são feitas. Teorias e concepções foram sendo desenvolvidas e, vez ou outra, elas foram resgatadas em tempos e sociedades diferentes para que fizessem parte novamente da estrutura de conhecimentos vigente. O próprio atomismo, as concepções aristotélicas de elementos, a *tria prima*, são exemplos de perspectivas que foram desenvolvidas e posteriormente retomadas em culturas e contextos distintos.

Contudo, faz-se necessário frisar que, apesar de serem retomadas, essas concepções ganham outros significados. Os tempos, as tecnologias, as práticas científicas, a sociedade, a forma de se relacionar com o saber se modifica com o tempo. Ora, é de se esperar que um conhecimento resgatado de outros tempos precise de novos arranjos, tanto para dar conta de fenômenos que os estudiosos buscam explicar, quanto para incluir valores imbricados nessa nova sociedade ou no próprio estudioso. Em outras palavras, “desde o alvorecer da ciência, o interesse do estudioso pelas obras de seus predecessores é *sine qua non* para o desenvolvimento do seu trabalho, pois é conhecendo o que já existe e o que (a seu ver) precisa ser reformulado, ou ainda ser feito, que ele contextualiza, justifica e fundamenta as suas preocupações de pesquisa” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 38).

Até o século XVI, via de regra, as teorias predominantes de matéria eram aquelas que se referiam aos quatro elementos peripatéticos com suas relações entre forma e substância e a *tria prima* dos alquimistas; esta última ganhando notoriedade nesse período com os seguidores de Paracelso (1493-1541), como sobredito. Com o abrandamento¹⁶ do domínio religioso no âmbito da faculdade do pensamento, teorias atomistas ressurgiram no cenário intelectual (Zaterka, 2004). Não obstante, a retomada do atomismo no século XVII, apesar de possuir em geral os mesmos pressupostos fundamentais, surge à luz de novas visões de mundo e, portanto, diferem daquele estabelecido por Leucipo de Mileto (460-370 AEC), Demócrito de Abdera (470-380 AEC) e Epicuro de Samos (341-270 AEC).

O estudo da matéria, nesse período, ainda aparecia fortemente atrelado à medicina e à farmácia. Por exemplo, Daniel Sennert (1572-1637), Walter Charleton (1620-1707) e Isaac Beeckman (1588-1637) haviam estudado medicina e desenvolvido influentes concepções corpusculares, baseadas naquelas dos gregos. Essas perspectivas se deslocaram do âmbito puramente filosófico e os estudiosos buscaram explicar fenômenos pensando na aplicabilidade dessas concepções no quesito prático, como no desenvolvimento de fármacos e no exercício da medicina (Maar, 1999). Inclusive, nesse contexto, evidenciam-se influências do programa epistemológico desenvolvido por Bacon, para quem a ciência deveria deixar o domínio contemplativo e se voltar ao domínio prático, isto é, ser investigada experimentalmente para que servisse para o bem da sociedade e para que pudesse auxiliar em dificuldades sociais que surgissem (Zaterka, 2004).

Importa ressaltar, e enaltecendo a influência de concepções pessoais em diversos momentos históricos, isto é, as idiossincrasias daqueles que constroem o empreendimento científico, que Bacon não foi influenciado apenas por suas pulsões científicas, pelo mero prazer de fazer ciência. Ele seguia a vertente cristã do puritanismo, que pregava o ócio como um pecado; já o trabalho e o bem fazer à sociedade vinculado à obra divina era muito bem quisto. Dessa forma, aliar a experimentação ao conhecimento da natureza, advinda de Deus, e determinar aplicações para esses conhecimentos foi, para Bacon, a melhor forma de dar coerência as suas aspirações (Zaterka, 2004). Aliás, a história pode tornar explícitas “interessantes conexões entre ideias científicas, pressupostos filosóficos, concepções religiosas e culturais que variam com a época e com a cultura subjacente” (Moreira, 1999, p. 174).

¹⁶No sentido de poder expressar-se com menos censura, pois o pensamento religioso seguiu sendo uma forte componente estruturante do modo de pensar.

O francês Pierre Gassendi (1592-1637), a título de exemplo, que dedicou sua juventude ao sacerdócio e só mais tarde passou a se interessar pela filosofia natural, reassumiu, de certa forma, ideias epicuristas, à luz do *De rerum natura* do poeta romano Tito Lucrécio Caro (94 AEC – 50 AEC). Gassendi defendia a união entre uma visão mecanicista e atomista, alinhada ao cristianismo, para explicar os fenômenos da matéria. Para ele, os átomos podiam ser entendidos como partículas que tinham uma existência real, moviam-se no espaço vazio e eram dotadas de extensão, forma e peso. Embora mecanicista, suas ideias se contrapunham ao mecanicismo cartesiano, no qual os atributos essenciais da matéria eram a extensão e o movimento. Nessa perspectiva, o vazio de Gassendi não poderia existir, tampouco o peso (ou outras qualidades sensoriais como cor, aroma e dureza) que não pertence à sua natureza. Para Descartes, a matéria é contínua, podendo ser indeterminadamente divisível, mas que seguiria existindo em forma contínua em uma espécie de *matéria universal* (Maar, 1999; Califano, 2010); em outras palavras, “é a matéria que dá sentido ao conceito ou à ideia de espaço. Extensão e matéria estão indissolivelmente ligados” (Peduzzi, 2019, p. 34).

É nesse ínterim que Robert Boyle também vai, dentre outras coisas, visar compreender a composição da matéria. Mas não somente isso, Boyle desempenhou um papel fundamental de crítico às concepções peripatética e alquímicas que envolviam os conceitos substanciais dos quatro elementos e da *tria prima*, respectivamente. Em várias de suas obras, ele disserta sobre sua concepção de elemento e do porquê as teorias que eram mais correntes entre os estudiosos não eram claras e conclusivas o suficiente (Zaterka, 2004).

Entre os anos de 1654 e 1660, Boyle sinaliza uma preocupação em conceitualizar a noção de elemento. O seu estudo “Ensaio de Nitro”¹⁷ explica as transformações químicas envolvidas na decomposição do nitro (hoje chamado de nitrato de potássio ou salitre) a partir do fogo em espírito de nitro e nitro fixo (atualmente conhecidos como ácido nítrico e carbonato de potássio, respectivamente). Nele, Boyle ainda mostra como era possível recombinar o espírito de nitro e o nitro fixo para formar o nitro novamente; a compreensão dessa reintegração, argumenta ele, só era possível se a matéria fosse interpretada a partir de uma perspectiva corpuscular. Zaterka salienta que:

[...] a importância do experimento serviu para propor uma nova teoria da matéria, derrubando a visão aristotélica e paracelsista. Esta nova proposta tem como pressuposto sua teoria corpuscular: o salitre na presença do fogo se decompôs em dois corpúsculos menores, as chamadas parte fixa e a parte volátil. Ora, para reintegrar (ou seja, na linguagem contemporânea, para “sintetizar”) a substância

¹⁷Originalmente intitulado “A physico-chymical essay containing an experimental with some considerations touching the differing parts and redintegration of salt-petre”.

original, pensava ele, temos somente que juntar novamente suas partes (Zaterka, 2004, p. 160).

Em “O químico cético”, de 1661, Boyle já apresenta uma concepção de elemento – pela qual é mais comumente lembrado e conhecido. No quarto parágrafo da sexta e última parte de seu livro, ele pontua:

[...] agora quero dizer por elementos, [...], certos corpos primitivos e simples, ou perfeitamente puros de qualquer mistura; que não sendo feitos de quaisquer outros corpos, ou uns dos outros, são os ingredientes a partir dos quais todos aqueles chamados corpos perfeitamente misturados são imediatamente compostos, e nos quais eles são finalmente resolvidos: se existe algum corpo assim que possa ser constantemente encontrado em todos, e em cada um, daqueles que são considerados corpos elementares, é o que questiono agora (Boyle, 1911, p. 187).

Nesse breve, mas elucidativo trecho, é possível identificar ao menos três importantes posicionamentos de Boyle em relação à sua prática científica. Primeiro, ele busca explicitar uma definição clara do que está entendendo por elemento, postura coerente com a defesa que fazia da necessidade de se ter uma linguagem clara na ciência, sem meias palavras. A própria definição de elemento em si, evidencia uma necessidade central em seu programa epistemológico, aquilo que estruturou seus escritos junto às interpretações de suas experimentações e, no final das contas, um de seus objetivos. Zaterka (2004) salienta que Boyle estava determinado a buscar uma teoria corpuscular mais robusta através da experimentação, e amparado em suas convicções teóricas seus estudos visaram esse desenvolvimento. O questionamento final da citação anterior, a saber, se realmente existem corpos deste tipo, primitivos e simples, literalmente um elemento, que poderia ser encontrado em todos os corpos — fazendo referência às concepções dos peripatéticos e dos paracelsonianos, que acreditavam, de fato, que existiam elementos (água, fogo, terra e água) ou princípios (mercúrio, enxofre, sal) presentes em todos os corpos em proporções que definiam suas características (como sólido, líquido, volátil, viscoso etc) — é outro posicionamento boyleano que evidencia suas profundas reflexões e preocupações. Apesar de Boyle definir o que entente por elemento, ele não cita em suas obras exemplos de elementos existentes na natureza (Oki, 2002).

Com esses e outros estudos que desenvolveu ao longo de sua vida, Boyle defendeu veemente a visão corpuscular de matéria. Posteriormente, ele classificou os corpúsculos em primeira e segunda ordem, buscando uma melhor compreensão dos fenômenos que observava. Os de primeira ordem eram aqueles corpúsculos relacionados ao *minima naturalia* e que são descritos por parâmetros mecânicos (tamanho, formato e movimento). Os de segunda ordem

são aqueles que possuem uma raiz vitalista, entendidos como corpúsculos que foram dotados de poderes seminais através de processos teológicos (Banchetti-Robino, 2011). Esses de segunda ordem é que caracterizavam as propriedades qualitativas dos materiais. Segundo Boyle, somente com essas características é que se poderia dar uma interpretação mais completa para os processos químicos. As qualidades químicas que ele estava interessado em seus trabalhos se referem a volatilidade, estabilidade, corrosividade e corrosibilidade (Boas, 1950).

Em síntese, importa destacar que o conceito de elemento de Boyle influenciou a ciência dos séculos seguintes, sobretudo a química, e essa sua noção foi fundamental para localizar e intensificar novos estudos sobre a estrutura da matéria. Em “uma ciência que se apresenta aproblemática, linear e cumulativa aos olhos do espectador, que mostra apenas os seus produtos, cobrindo com um véu denso e intransponível os processos de sua construção” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 42), essas considerações, ainda que sucintas, são relevantes para se pensar o próprio desenvolvimento de um conceito, nesse caso o de elemento.

2.3 ÁTOMOS E ELEMENTOS: OUTROS ASPECTOS DE ESTUDOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS SOBRE A MATÉRIA

No século XVIII, a partir de novas concepções filosóficas com forte influência baconiana e boyleana, os estudiosos passaram a investigar aspectos qualitativos da matéria, também, a partir de parâmetros quantitativos, com o auxílio de vidrarias e equipamentos laboratoriais, a título de exemplo. “O debate científico em torno de uma linguagem uniforme, de aceitação geral e inequívoca, ainda é um objetivo a ser alcançado” pela ciência moderna, “que definitiva e irreversivelmente se distancia dos ideais da prática isolada, individualista, incerta e sigilosa da alquimia” (Peduzzi, 2015, p. 37).

Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794) retomou ideias boyleanas. Para ele, elemento era a última parte de matéria que as análises eram capazes de atingir, isto é, substâncias que não poderiam ser reduzidas em outros compostos. Em seu *Tratado Elementar de Química*, de 1789, ele traz uma tabela (Figura 1) com 33 elementos que são separados em quatro categorias; a partir delas, Lavoisier construiu uma classificação para os elementos conhecidos na época. A primeira reúne o que, segundo ele, são *elementos dos corpos*: luz, calórico, oxigênio, azoto (nitrogênio) e hidrogênio. *Substâncias simples não metálicas, oxidáveis e acidificáveis* é o nome dado por Lavoisier à segunda categoria; fazem parte dela os elementos enxofre, fósforo, carbono, radical muriático (ácido clorídrico), radical fluorídrico (ácido

fluorídrico) e o radical borácico (boro). Na terceira categoria são encontradas as *substâncias simples metálicas, oxidáveis e acidificáveis*, as quais compõem o grupo o antimônio, a prata, o arsênico, o bismuto, o cobalto, o cobre, o estanho, o ferro, o manganês, o mercúrio, o molibdênio, o níquel, o ouro, a platina, o chumbo, o tungstênio e o zinco. No último grupo, encontram-se as *substâncias simples salificáveis terrestres* compostas pela terra calcária (óxido de cálcio), magnésio, barita (sulfato de bário), alumínio, barita (dióxido de bário) (Perrin, 2013).

Figura 1: Tabela dos elementos de Lavoisier publicada em seu livro *Traité Élémentaire de Chimie* em 1789 e reproduzida no livro *Elements of Chemistry*.

TABLE OF SIMPLE SUBSTANCES.

Simple substances belonging to all the kingdoms of nature, which may be considered as the elements of bodies.

<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old Names.</i>
Light - - -	Light.
Caloric - - -	Heat. Principle or element of heat. Fire. Igneous fluid. Matter of fire and of heat.
Oxygen - - -	Dephlogificated air. Empyrean air. Vital air, or Base of vital air.
Azote - - -	Phlogificated air or gas. Mephitic, or its base.
Hydrogen - - -	Inflammable air or gas, or the base of inflammable air.
Oxydable and Acidifiable simple Substances not Metallic.	
<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old names.</i>
Sulphur - - -	The same names.
Phosphorus - - -	
Charcoal - - -	
Muriatic radical - - -	
Fluoric radical - - -	Still unknown.
Boracic radical - - -	
Oxydable and Acidifiable simple Metallic Bodies.	
<i>New Names.</i>	<i>Correspondent Old Names.</i>
Antimony - - -	Antimony.
Arsenic - - -	Arsenic.
Bismuth - - -	Bismuth.
Cobalt - - -	Cobalt.
Copper - - -	Copper.
Gold - - -	Gold.
Iron - - -	Iron.
Lead - - -	Lead.
Manganese - - -	Manganese.
Mercury - - -	Mercury.
Molybdena - - -	Molybdena.
Nickel - - -	Nickel.
Platina - - -	Platina.
Silver - - -	Silver.
Tin - - -	Tin.
Tungstein - - -	Tungstein.
Zinc - - -	Zinc.

Fonte: Lavoisier, 1965.

Pode-se notar que alguns dos elementos citados por Lavoisier não são mais considerados elementos, como a luz e o calórico, e que outros não eram substâncias simples, como o ácido sulfúrico e o óxido de cálcio. Contudo, como ele mesmo havia deixado claro, aquele não era um trabalho finalizado; estudos posteriores, que viabilizassem a possibilidade experimental de divisão de um elemento, deveriam ser realizados visando o melhoramento

dessa tabela; e que estes, porventura, poderiam encontrar equívocos em sua estrutura inicial (Perrin, 2013).

Em *Elements of Chemistry*, publicado no ano seguinte ao *Tratado*, Lavoisier frisa que:

tudo o que ousamos afirmar sobre qualquer fato é que uma substância deve ser considerada como algo simples no estado atual de nosso conhecimento, e até onde a análise química foi capaz de mostrar até agora. Podemos até presumir que as *substâncias simples salificáveis terrestres* em breve poderão deixar de ser consideradas corpos simples [...]. Se assim for, eles serão considerados compostos constituídos por substâncias simples, talvez metálicas, oxidadas até certo ponto. Isto só é arriscado como uma conjectura; e confio que o leitor terá o cuidado de não confundir o que relatei como verdades, fixadas na base firme da observação e da experiência, com meras conjecturas hipotéticas” (Lavoisier, 1965, p. 177).

Essa tabela se distancia da Tabela Periódica dos Elementos Químicos por não ter o objetivo de mostrar uma variação periódica das propriedades químicas em função de algum outro parâmetro. Entretanto, a concepção de elemento e substância simples exposta na obra lavoisieriana e a apresentação dessa tabela com os elementos separados em categorias foram de grande relevância para os estudos sobre a matéria no período. Ademais, na citação anterior, é possível perceber a importância dada por Lavoisier à sua metodologia experimental. Além da influência boyleana, na própria noção de elemento, a experimentação no século XVIII passou a ser desenvolvida à luz da consolidação e unificação da concepção baconiana-newtoniana¹⁸; e Lavoisier, por certo, apoderou-se da nova abordagem experimental da física para estabelecer e defender seu modelo para a química (Donovan, 1990).

As relações matemáticas de proporcionalidade que emergem no âmbito dessas novas considerações epistemológicas, permite que se desenvolva, nesse contexto, relações entre os pesos atômicos dos elementos e os compostos que eles poderiam formar. Um exemplo dessa, ainda, tímida intersecção com a matemática foi a tese de doutorado do químico Jeremias Benjamin Richter (1762–1807), datada de 1785 e orientada por Immanuel Kant (1724-1804). Richter desenvolveu uma relação entre a quantidade necessária de uma determinada base para neutralizar uma porção de ácido. A partir de seu trabalho experimental e teórico matemático, ele construiu diversas tabelas com pesos equivalentes, mostrando que a proporção entre a parcela de base e ácido obedecia a uma progressão aritmética (Califano, 2010).

¹⁸Nesse período, havia uma controvérsia entre os ingleses, com o método empírico, particularmente à luz da concepção baconiana e da “Óptica” de Isaac Newton, e os franceses com filosofia cartesiana, associada ao método dedutivo. Em meados do século XVIII, no entanto, os pertencentes à escola francesa “não apenas se submeteram ao ponto de vista inglês, como, na sua famosa *Encyclopédie*, fizeram uma rotação completa, colocando Bacon em um pedestal” (Butterfield, 1949). Como ressalta Mocellin (2003, p. 57): “na química de Lavoisier, encontramos elementos epistemológicos de, pelo menos, dois programas de pesquisas distintos: o da química tradicional e o newtoniano” (Raicik; Golçalves, 2022). Em outras palavras, Lavoisier não estava alheio a isso, muito pelo contrário.

O trabalho de Richter veio a influenciar o estudioso Joseph Louis Proust (1754–1826), que desenvolveu a teoria das proporções, tornando-se uma forte base experimental em favor da teoria atômica da matéria. A lei das proporções sinalizava que “a composição em peso dos compostos químicos é constante e que um elemento químico pode dar origem a um número limitado de compostos com diferentes composições em peso” (Califano, 2010, p. 264, tradução nossa).

O químico, físico e meteorologista inglês John Dalton (1766–1844) tomou o peso do hidrogênio como base, como unidade para as relações que estabeleceu e, a partir das combinações de pares de elementos, conseguiu determinar os pesos relativos entre átomos de elementos conhecidos na época (Rouvray, 2004). Tal relação ficou conhecida como *lei das proporções múltiplas* de Dalton. Seus escritos foram muito importantes para diversos desenvolvimentos teóricos e experimentais realizados no século XIX, principalmente no que se refere àqueles que colocam átomos e elementos como partes estruturantes das interpretações dos processos químicos (Califano, 2010; Peduzzi, 2019).

Em “Um novo sistema de filosofia química”, de 1808, Dalton delimita quatro postulados, são eles:

Os átomos são corpúsculos materiais indivisíveis e indestrutíveis; Os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos; Os átomos de diferentes elementos possuem propriedades distintas quanto ao peso, tamanho, afinidade, etc; Os compostos são formados pela reunião de átomos de diferentes elementos, segundo proporções numéricas simples, tais como 1:1, 1:2, 2:3, etc. (Peduzzi, 2019, p. 43).

Ele determina que os átomos representariam a última parte da matéria que se poderia chegar, isto é, há uma finitude nas divisões que poderiam ser feitas, a matéria não é indefinidamente divisível. Assim, outros termos como partículas ou moléculas ganhariam uma conotação diferente da palavra *átomo*. Contudo, ainda se passaram algumas décadas para que essas nomenclaturas fossem bem definidas. Aliás, essa foi uma das questões tratadas no primeiro congresso de química que reuniu estudiosos de diversos países na cidade de Karlsruhe na Alemanha em 1860.

É importante ressaltar que, apesar da nomenclatura, o átomo grego — aquele de Demócrito e Leucipo, com desenvolvimentos posteriores de Epicuro — não foi o broto que indiscutivelmente germinaria no átomo de Dalton. Os estudos do inglês surgiram em um contexto epistemológico, teórico e cultural extremamente diferente. O átomo daltoniano parte de pressupostos teóricos e experimentais surgidos em seu tempo, como a conceituação de

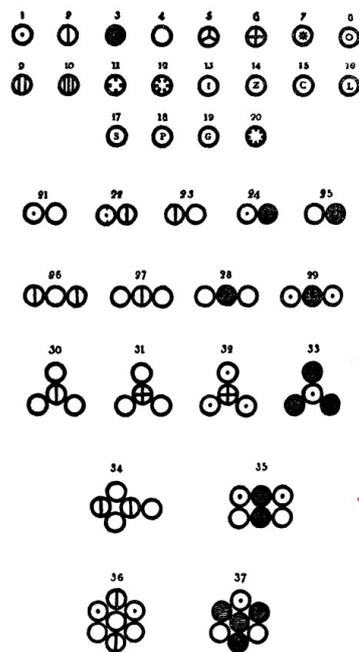
elemento por Boyle, os escritos sobre substâncias simples de Lavoisier e seu zelo empírico. Em um primeiro momento, a ideia de pensar o conhecimento científico como uma linha reta, que invariavelmente leva de um ponto a outro no espaço-tempo, como uma incubadora de ideias que farão parte do futuro, pode parecer fascinante, mas se mostra sombria quando analisada mais de perto. Essa “ciência linear” negligencia os estudiosos, as culturas, os desenvolvimentos tecnológicos, o próprio empreendimento científico.

Cumulatividade e ruptura não são conceitos necessariamente antagônicos. Assim, não há contradição quando se entende, por exemplo, que o conhecimento tanto pode se desenvolver de forma contínua, crescendo como a área gerada pela propagação de uma onda em um lago de águas tranquilas, como, em determinados momentos, sofrer grandes transformações, à semelhança de um temporal que assola o lago (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 38).

Invariavelmente, Dalton (mas não somente ele) deixa bastante evidente a importância conferida à precisão e a utilização de equipamentos que auxiliam a pesquisa química. Ele zela pela utilização de parâmetros quantitativos, assim como Lavoisier já havia sinalizado no final do século anterior, sob forte influência, como mencionado, de uma concepção baconiana-newtoniana que se disseminou e consolidou na física (Rouvray, 2004).

O estudioso inglês também desenvolveu um sistema de símbolos para representar os átomos e as formas como eles se combinavam (Figura 2). Por exemplo, o hidrogênio era denotado por um círculo vazio com um ponto no meio, e o oxigênio como um círculo vazio; a união desses dois círculos representava a água. Esse sistema também facilitou a visualização da sua “regra da maior simplicidade”. Essa regra foi postulada pelo desconhecimento das fórmulas químicas na época. Então, para determinar a quantidade de cada átomo nos compostos, ele concluiu que se deveria assumir a combinação mais simples possível, tal como um binário, a não ser que houvessem evidências que mostrassem o contrário (Peduzzi, 2019). Além disso, não admitia a combinação de átomos de um mesmo elemento, pois, para ele, esse tipo de composto seria instável, porque haveria apenas forças repulsivas atuando sobre eles.

Figura 2: Os átomos elementares e compostos de Dalton na publicação de 1808, “Um novo sistema de filosofia química”: (1) Hidrogênio, (2) Azoto (Nitrogênio), (3) Carbono, (4) Oxigênio, (5) Fósforo, (6) Enxofre, (7) Magnésia, (8) Cálcio, (9) Sódio, (10) Potássio, (11) Estrôncio, (12) Bário, (13) Ferro, (14) Zinco, (15) Cobre, (16) Chumbo, (17) Prata, (18) Platina, (19) Ouro, (20) Mercúrio, (21) Água, (22) Amônia, (23) “Gás nitroso” (óxido nítrico), (24) Etileno, (25) Ácido carbônico, (26) Anidrido azotoso, (27) Ácido azótico, (28) Anidrido carbônico, (29) Metana, (30) Ácido “oxinítrico”, (31) Ácido sulfúrico, (32) Ácido sulfídrico, (33) Álcool, (34) Ácido nitroso, (35) Ácido acético, (36) Nitrato de Amônia, (37) Açúcar.



Fonte: Taylor, 1941.

No mesmo período em que Dalton empreendia seus estudos sobre as proporções dos pesos atômicos, realizando estudos sobre misturas de gases, Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) desenvolveu a sua *Lei dos volumes*. A lei dizia que “quando dois ou mais gases, mantidos a temperatura e a pressão constantes, interagem para constituir um outro gás, os volumes relativos podem ser representados por números inteiros” (Peduzzi, 2019, p. 50). Com essa *Lei*, Gay-Lussac mostrou que alguns de seus resultados diferiam dos de Dalton. Um deles, que ficou mais proeminente, foi o do caso do vapor d’água, que apresentava um volume menor do que o esperado a partir dos estudos daltonianos, isto é, um valor menor que a soma dos volumes dos seus constituintes (Califano, 2010).

Dalton, que na época teve contato com os estudos de Gay-Lussac, ao observar que esse modelo da *Lei dos volumes* alterava alguns de seus pressupostos, a rejeitou. É interessante notar que, mesmo com evidências empíricas, Dalton manteve firme sua convicção, em defesa de uma coerência com sua própria teoria. Isso, pois, caso aceitasse os resultados de Gay-Lussac, ele teria que rever algumas questões de sua perspectiva conceitual; como a homogeneidade da atmosfera (já que assim um mesmo volume de gás poderia conter um número diferente de corpúsculos) e o dimensionamento dos átomos. Com efeito, o empreendimento científico demanda que os estudiosos, por vezes, resistam à mudança para não ir contra as suas próprias convicções teóricas. Se o estudioso abandonasse suas concepções no primeiro empecilho que lhe ocorresse, parece que nenhum programa na ciência prosperaria.

Valendo-se da *Lei dos Volumes* de Gay-Lussac, Amedeo Avogadro (1776-1856), em 1811, conseguiu encontrar uma resposta para a divergência entre os valores do volume do vapor d'água que Gay-Lussac havia encontrado experimentalmente e do volume que Dalton previa teoricamente. Para isso, ele fez uma distinção entre corpúsculos últimos, elementares, que seriam os átomos e aglomerados desses átomos, que seriam as moléculas. Ele estabeleceu uma relação entre a *Lei dos Volumes* e o número de átomos existentes em um gás; ora, se existia uma relação simples entre os volumes dos gases que se combinavam, deveria haver também “uma relação igualmente simples envolvendo o número de moléculas de diferentes gases em um mesmo volume”. Assim, Avogadro enuncia o que mais tarde viria a ser conhecido como a Hipótese de Avogadro: “sob as mesmas condições de temperatura e pressão, volumes iguais de gases quaisquer contêm o mesmo número de moléculas” (Peduzzi, 2019, p. 51).

Dessa forma, Avogadro mostrou que

$2x$ moléculas de hidrogênio combinam-se com x moléculas de oxigênio para produzir $2x$ moléculas de vapor d'água, sendo x um número inteiro. Como há (pelo menos) um átomo de oxigênio em cada uma das duas moléculas de vapor d'água que se originam da combinação de duas moléculas de hidrogênio com uma de oxigênio, a molécula de oxigênio possui (pelo menos) dois átomos (Peduzzi, 2019, p. 51).

Além do próprio Dalton, outros estudiosos da época não aceitavam a possibilidade de dois átomos de um mesmo elemento estarem unidos em uma molécula por conta das forças de repulsão ali existentes. Por isso, na primeira metade do século XIX, os estudos da *Hipótese de Avogadro* ficaram um tanto esquecidos (Peduzzi, 2019).

Cerca de três décadas depois, o químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) obteve alguns pesos atômicos e moleculares utilizando a *Lei* de Gay-Lussac e a *Hipótese de Avogadro*, com uma precisão que impressiona. Cannizzaro, aliás, teve um papel muito importante na difusão de ideias de Avogadro; ele as defendeu e promoveu diversas discussões sobre elas na Europa. Ao participar do Congresso de Karlsruhe, no qual apresentou seus trabalhos, defendeu os de Avogadro e fez uma importante fala sobre pesos atômicos (Kragh, 1987).

O historiador da ciência Helge Kragh (1987) sugere que Cannizzaro teve um papel tão importante quanto o do próprio Avogadro, já que ele recuperou a *Hipótese* e a difundiu entre os estudiosos da época; um conhecimento parado, sem circulação entre as instituições, acaba não se consolidando na comunidade científica; carece de entrar em discussões e debates. O

historiador, nesse sentido, defende a importância daqueles que se ocupam na própria disseminação do conhecimento científico: em alguns casos, “[...] organizadores e propagandistas da ciência não eram eles próprios cientistas ativos. Mas mesmo assim, desempenharam um papel muito importante no desenvolvimento da ciência” (Kragh, 1987, p. 80).

Ainda que não seja objeto específico deste trabalho, importa sinalizar que concepções que permearam o entendimento da matéria, dos átomos, dos elementos, foram se tornando cada vez mais matematizadas e perdendo, de certa forma, sua centralidade filosófica. No século XIX, por exemplo, surgiu a mais comumente conhecida disputa do peso equivalente *versus* peso atômico.

Nesse embate estava em jogo a aceitação da realidade física dos átomos, bem como a importância central ou não dos dados empíricos na química. O peso atômico tem suas raízes com os trabalhos de Dalton, enquanto que podem ser encontrados aspectos do peso equivalente em escritos de Richter. Ainda que este último não tenha utilizado esse termo em particular, sua concepção foi amplamente defendida e popularizada pelo químico William H. Wollaston (Oki, 2009). A forma de obtenção do peso equivalente de Wollaston, no início do século XIX, tornou-se tão semelhante ao peso atômico, em termos práticos, que alguns estudiosos passaram a utilizá-los como sinônimos. Em ambos os procedimentos havia quantidades de compostos sendo comparadas: no peso equivalente media-se a quantidade relativa do elemento que reagia quimicamente com o hidrogênio; já no peso atômico um volume de certo elemento era comparado a um mesmo volume de hidrogênio, tendo como base para isso a hipótese de Avogadro. Estudiosos de corrente filosófica mais positivista, que defendiam o peso equivalente justamente pela sua conotação empírica, acusaram Wollaston de uma mera troca de linguagem; o próprio Auguste Comte (1798-1857) teceu críticas a ele (Tolentino; Rocha; Chagas, 1997).

No século XIX, tanto trabalhos teóricos quanto experimentais haviam sido desenvolvidos sem a existência de uma padronização em sua linguagem e em seus procedimentos. Isso, conseqüentemente, propiciou o aparecimento de muitas confusões e disputadas de perspectivas. Por isso surgiu, entre os estudiosos, a necessidade da realização de um congresso — a saber, o congresso de Karlsruhe, supracitado — em que se visou uma discussão conjunta em busca de um consenso, uma solução para os embates. Claro que apenas um encontro entre estudiosos que tinham visões contrárias não resolveria toda a situação, mas o importante evento abriu portas para novos estudos e um encaminhamento para as

necessárias padronizações de linguagem. Sabe-se, por exemplo, que esse congresso influenciou a visão de Dmitri I. Mendeleev (1834-1907) que, anos mais tarde, desenvolveu a sua Tabela Periódica dos Elementos Químicos, baseando-se em perspectivas de peso atômico expostas por Cannizaro; mas isso é tema para outro artigo.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, foram apresentados alguns estudos que fizeram parte da estruturação de uma conceitualização de elemento, partindo da ciência moderna no século XVII. Ideias de elementos já eram discutidas desde os tempos mais remotos, porém, obviamente, em um contexto epistemológico, teórico, experimental e cultural muito diferente. Com o desenvolvimento das relações matemáticas de proporcionalidade, com o amparo de técnicas experimentais, à luz de um novo arcabouço metodológico, com o reconhecimento de que não havia uma nomenclatura padrão – palavras como átomo, elemento, molécula, equivalente, eram empregadas como sinônimos e com diferentes sentidos — os próprios estudiosos sentiram necessidade de buscar um consenso, ao menos, na definição de determinadas nomenclaturas. Em que pese a inegável relevância do Congresso de Karlsruhe em 1860, a discussão e o emprego dos termos de forma descuidada se estenderam por vários anos. No seu artigo de 1871, intitulado “A Lei Periódica dos Elementos Químicos”, a título de exemplo, Mendeleev, incomodado com essa falta de padronização, apresenta uma diferenciação entre corpos simples e elementos, frisando que elementos devem remeter a átomos e que sua principal característica seria o peso atômico (Oki, 2002; Bensaude-Vincent; Stengers, 1992).

Todavia, essas confusões com os termos não residem apenas no século XIX. No âmbito educacional, livros didáticos, de forma geral, costumam apresentar equívocos relacionados aos conceitos de elemento e substâncias simples (Oki, 2002). Além disso, concepções prévias dos alunos são frequentemente negligenciadas, o que pode ocasionar em uma aprendizagem puramente mecânica desses conceitos (Nahum *et al.*, 2010). O mesmo se estende para o contexto da formação de professores, no qual alguns dos conceitos citados são tidos como tão básicos, que acabam sendo abordados, comumente, com descuido (Taber, 2019; Colpo; Wenzel, 2021). Por isso, defende-se que um resgate histórico envolvendo noções de elemento, ainda que sucinto, pode trazer frutíferos subsídios ao ensino de ciências, para além de propiciar reflexões *sobre* a ciência.

Taber (2019) apresenta uma interessante reflexão em torno dos principais conceitos de elementos apresentados em livros didáticos. O primeiro conceito identificado é de que “um elemento é uma substância pura que não pode ser dividida em nada mais simples por meios químicos”; e o segundo sinaliza que “um elemento é uma substância que contém apenas um tipo de átomo” (Taber, 2019 p. 172). O autor adverte que definições como essas só seriam apreendidas com facilidade e em sua completude, caso os estudantes tivessem, previamente, um entendimento de outros conceitos; como o de substâncias puras, de divisão de componentes e átomos. Isso evidencia, mais uma vez, a importância de resgates que explicitem uma abordagem histórica desses conceitos. Isso, quando associado a uma discussão que envolva uma diferenciação entre eles, por exemplo, e uma relação com perspectivas atuais de tais conceitos, pode ainda mais contribuir para uma aprendizagem significativa da temática (Ferreira; Lambach, 2021).

A História e Filosofia da Ciência tem, cada vez mais, se mostrado relevante para a aprendizagem conceitual da ciência, e para promover discussões *sobre* ela, a partir de aspectos relativos à Natureza da Ciência (Matthews, 1995; Peduzzi, 2001; Moura 2014; Peduzzi; Raicik, 2020; Pinto; Silva, 2021). Por isso, os episódios históricos aqui apresentados, aliados à reflexões historiográficas e epistemológicas, podem servir como um importante aporte teórico para debates envolvendo a conceitualização de elemento, tão importante em diferentes áreas da ciência e da própria história do pensamento humano. Assim como, a partir das nuances envolvidas nesses episódios, é possível discutir aspectos desse empreendimento que geralmente ficam apagados ao se discutir apenas os produtos da ciência, quando se fala somente sobre o conceito atual de elemento. Resgatar criticamente a história da ciência e levar isso para o ensino permite aos estudantes o envolvimento com um empreendimento mais próximo da realidade dos cientistas, vivenciando dificuldades, disputas, desentendimentos, influências internas e externas etc que fazem parte da própria dinâmica científica.

REFERÊNCIAS

- BANCHETTI-ROBINO, M. P. Ontological tensions in sixteenth and seventeenth century chemistry: between mechanism and vitalism. **Foundations of chemistry**, v. 13, p. 173-186, 2011.
- BENSAUDE-VINCENT, B.; SIMON, J. **Chemistry: The impure science**. World Scientific, 2012.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. **História da Química**. Lisboa: Editora Piaget, 1992.

BOAS, M. Boyle as a theoretical scientist. **Isis**, v. 41, n. 3/4, p. 261-268, 1950.

BOYLE, R. **The Sceptical Chymist**. London: J. M. Dent & Sons, Ltd.; New York: E. P. Dutton, 1911.

BUTTERFIELD, H. **As origens da ciência moderna**. Portugal: Edições 70, 1949.

CALIFANO, S. The concept of atom from the Greek philosophers to the Karlsruhe congress. **Rendiconti Lincei**, v. 21, p. 253-267, 2010.

CHANG, K. Alchemy as Studies of Life and Matter Reconsidering the Place of Vitalism in Early Modern Chymistry. **Isis**, v. 102, p. 322–329, 2011.

COLPO, C. C.; WENZEL, J. S. Estratégia de leitura de textos de divulgação científica na Formação inicial de professores de química como modo de potencializar a apropriação/significação conceitual. **Revista Valore**, v. 6, p. 290-300, 2021.

DONOVAN, A. Lavoisier as chemist and experimental physicist: A reply to Perrin. **Isis**, v. 81, n. 2, p. 270-272, 1990.

FERREIRA, L. M.; LAMBACH, M. O desenvolvimento do conceito de substância química: uma história e implicações para o ensino de química. **Scientia Naturalis**, v. 3, n. 5, 2021.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, 2011.

FULTON, J. F. Robert Boyle and his Influence on Thought in the Seventeenth Century. **Isis**, v. 18, n. 1, p. 77-102, 1932.

GOLDFARB, A. M. A. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1987.

KOYRÉ, A. **Considerações sobre Descartes**. Lisboa: Editorial Presença, 1963.

KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge University Press, 1987.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

NAHUM, L. T. *et al.* Teaching and learning the concept of chemical bonding. **Studies in Science Education**, v. 46, n. 2, p. 179-207, 2010.

LAVOISIER, A. L. **Elements of Chemistry**. New York: Dover Publications, 1965.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI. No prelo.

MAAR, J. H. **Pequena história da Química**: uma história da ciência da matéria (primeira parte: dos primórdios a Lavoisier. Florianópolis: Papa-livro, 1999.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, 1995.

MOCELLIN, R.C. **Lavoisier e a Longa Revolução na Química**. Dissertação [mestrado]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MOREIRA, I. C. Maupertuis (1698-1759) e o Princípio da Mínima Ação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 172-186, 1999.

MOURA, B. A. O que é a Natureza da Ciência e qual a sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, 2014.

OKI, M. C. M. O conceito de elemento da antiguidade à modernidade. **Química Nova na Escola**, v. 16, n. 1, p. 21-25, 2002.

OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, p. 1072-1082, 2009.

PAPAGEORGIOU, G.; SAKKA, D. Primary school teachers' views on fundamental chemical concepts. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 1, n. 2, p. 237-247, 2000.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019a). 205 p.

PEDUZZI, L. O. de Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. **Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020.

PERRIN, C. E. Lavoisier's table of the elements: A reappraisal. **Ambix**, v. 20, n. 2, p. 95-105, 1973.

PINTO, J. A. F.; SILVA, C. C. Natureza da Ciência no ensino: entre a pesquisa acadêmica e as orientações oficiais para a educação básica. **Ciência & Educação**, v. 27, 2021.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Experimentos exploratórios e *experientia literata*: (re) pensando a experimentação. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, 2018.

RAICIK, A. C.; GONÇALVES, F. P. O debate Perrin-Donovan e a revolução química de Lavoisier: reflexões kuhnianas e implicações no ensino de ciências/química. **Em Construção: Arquivos de epistemologia histórica e estudos de ciência**, n. 11, 2022.

ROUVRAY, Dennis H. Elements in the history of the Periodic Table. **Endeavour**, v. 28, n. 2, p. 69-74, 2004.

SANTOS, R. L. R.; LIMA, J. P. M.; SARMENTO, V. H. V. Concepções de alunos ingressantes no curso de Licenciatura em Química sobre alguns conceitos de soluções. **REnCiMa**, v. 8, n. 3, p. 41-60, 2017.

SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Concepções sobre Substância: Relações entre Contextos de Origem e Possíveis Atribuições de Sentidos. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 70-78, 2016.

TABER, K. S. **The nature of the chemical concept: Re-constructing chemical knowledge in teaching and learning**. Royal Society of Chemistry, 2019.

TAYLOR, F.S. **Pequena história da ciência**. São Paulo: Livraria Martins, 1941.

TOLENTINO, M.; ROCHA, R. C.; CHAGAS, A. P. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. **Química nova**, v. 20, p. 103-117, 1997.

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

3 CLASSIFICAÇÕES DE ELEMENTOS QUÍMICOS NO SÉCULO XIX: UM RESGATE HISTÓRICO NA BUSCA POR UMA CORRELAÇÃO ENTRE O PESO ATÔMICO DOS ELEMENTOS E SUAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Resumo: O século XIX é permeado por distintas sistematizações dos elementos químicos que evidenciavam a busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas. Um resgate histórico-epistemológico, ainda que sucinto, de classificações como a de Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, a de Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, evidenciam como eram variadas as formas pelas quais os estudiosos buscavam uma classificação para os elementos e como observavam por diferentes perspectivas os parâmetros químicos utilizados nessas classificações. Além disso, esse período, sobretudo vinculado ao Congresso de Karlsruhe, permite compreender a relevância das discussões relacionadas aos procedimentos de determinação do peso atômico, da nomenclatura dos elementos, dos dissensos linguísticos e conceituais relativos a átomos, moléculas, substâncias, entre outros, que permearam a comunidade científica naquele momento.

Palavras-chave: Sistematização; Peso Atômico; Congresso de Karlsruhe; História da Ciência; Natureza da Ciência.

3.1 INTRODUÇÃO

O surgimento de práticas de síntese e análise laboratoriais a partir do século XVII, juntamente à retomada do atomismo e a introdução do empirismo baconiano e do mecanicismo cartesiano, vão conferir novos questionamentos aos estudos da matéria e às concepções de elemento na ciência (Goldfarb, 1987; Banchetti-Robino, 2011; Lorenzetti, Raicik, Peduzzi, 2024, no prelo). Ainda que permeada em um fundo filosófico que tem os quatro elementos aristotélicos e os princípios “mercúrio”, “sal” e “enxofre” – a *tria prima* – derivada da alquimia árabe e desenvolvida por espagiristas, amplamente disseminados, compostos e elementos passaram a ser sistematicamente estudados, isolados, misturados, decompostos na considerada “ciência moderna” (Maar, 2011).

A tradição de lidar com compostos, seja com alquimistas, iatroquímicos, farmacêuticos, curandeiros, é bastante antiga. No contexto alquímico e mágico-vitalista, era

comum que o ouro e a prata fossem considerados elementos advindos de uma boa mistura; particularmente o ouro, visto como uma mistura perfeita de outras partes estruturantes fundamentais, como os princípios mercúrio e enxofre (Goldfarb, 1987). Não obstante, à luz de novas considerações filosóficas que permearam a ciência nos séculos XVII, XVIII e XIX, mais laboratórios eram construídos, mais práticas eram desenvolvidas e, inevitavelmente, surgiram problemas que antes não eram preocupações latentes; como a classificação de compostos e elementos, a padronização de nomenclaturas, a definição de conceitos (tais como átomos, moléculas, substância etc) e os procedimentos de obtenção do peso atômico.

Em seu livro *O pluralismo coerente da química moderna*, Bachelard (2009) evidencia a variedade de substâncias que os químicos modernos fizeram surgir em seus laboratórios e a infinidade de compostos artificiais que foram obtidos a partir da decomposição de complexas substâncias orgânicas de origem animal e vegetal. Compostos que antes eram ditos semelhantes, através de sua cor ou cheiro, isto é, a partir de aspectos sensoriais ou por sua origem natural (como óleos extraídos especificamente de plantas), passaram por análises mais criteriosas que se valeram de outros valores, não apenas o sensorial, para sua classificação. Bachelard acreditava, inclusive, que essa prática de utilizar os sentidos para determinar certas propriedades de compostos e assim aproximá-los ou afastá-los em termos de semelhanças, dificultou que se obtivesse, ainda no século XVIII, uma classificação de compostos em famílias que não só formassem agrupamentos, mas que tivessem uma acepção analítica. As sistematizações que surgiram no século XIX não apenas reuniam os elementos a partir de certas categorias símile, argumentou Bachelard, mas auxiliaram na construção de conhecimento sobre os compostos e as séries analíticas empregadas, a partir dos próprios mecanismos e práticas utilizados.

Antoine-Laurent Lavoisier (1743–1794), Jeremias Benjamin Richter (1762–1807), Joseph Louis Proust (1754–1826), entre tantos outros, impulsionaram, sobremaneira, as pesquisas que seguiram a eles no início do século XIX. A teoria atômica e a lei das proporções múltiplas de John Dalton (1766-1844) e a lei dos volumes de Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850), por exemplo, marcaram os estudos sobre a matéria do período. Apresentando resultados diferentes para o estudo de gases, principalmente no que se refere ao volume do vapor d'água, eles influenciaram tanto os defensores da teoria atômica, que buscavam procedimentos e valores apropriados para o peso atômico, como quem se alinhava com o que ficou conhecido como peso equivalente (Maar, 2011).

À luz de uma nova filosofia, além das propriedades físico-químicas qualitativas, atreladas fortemente ao sensorial, os químicos também passaram a considerar fortemente aspectos quantitativos dos elementos, sendo esse um dos parâmetros que permitiu à comunidade científica da época o estabelecimento de diversas relações de classificação química, principalmente a partir da década de 30 do século XIX. Essas relações, em termos gerais, instituíram um novo ciclo de estudos químicos, que estavam ligados à ideia de organizar, classificar, categorizar e, a partir dessas práticas, obter novos conhecimentos sobre os elementos sistematizados. Foi (e é) um movimento dinâmico entre explorar, isolar, relacionar, organizar um determinado objeto de estudos pertencente à natureza, até modificá-la, e ao mesmo tempo obter novos conhecimentos sobre ela; modificar para construir e aprender.

Nesse sentido, e visando contextualizar historicamente algumas organizações para os elementos químicos pouco ponderadas no ensino de ciências, este artigo resgata sistematizações como a de Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, a de Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, além de uma das tabelas de Julius Lothar Meyer (1830-1895), que antecederam à publicação da comumente conhecida Tabela Periódica de Dmitri I. Mendeleev (1834-1907). Ressalta-se brevemente, para tanto, fatores que influenciaram direta ou indiretamente o desenvolvimento dessas sistematizações, como o primeiro evento internacional a reunir uma comunidade de químicos, o conhecido Congresso de Karlsruhe, que ocorreu em 1860, que objetivava uma conciliação entre diferentes perspectivas químicas que circulavam na época.

Em síntese, busca-se evidenciar entrelinhas uma mudança metodológica (e epistemológica) entre os estudiosos; de um pensamento qualitativo (levando em consideração aspectos físico-químicos em sua grande maioria sensíveis aos sentidos humanos) para um outro quantitativo, por parte de alguns deles. Além disso, a influência que fatores considerados mais “externos” ao corpo conceitual da ciência exercem sobre os estudiosos, a indivisibilidade entre sujeito (humano) e pesquisador que explicita como concepções idiossincráticas influenciam as pesquisas, a coletividade na ciência e sua dinamicidade, entre outros, são salientados, sobretudo com vias a reflexões para o ensino de ciências.

3.2 PRIMEIRAS CLASSIFICAÇÕES DO SÉCULO XIX: RELAÇÕES NUMÉRICAS ENTRE O PESO ATÔMICO DE ELEMENTOS E A DISSEMINAÇÃO DAS TRÍADES

Em 1817, Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), buscando uma relação entre os elementos químicos e seus pesos atômicos desenvolveu e publicou a Lei das Tríades. Nessa classificação, os óxidos eram agrupados a partir de relações entre seus pesos; apesar de essencialmente numérica, ela auxiliou a traçar semelhanças entre as propriedades físico-químicas dos elementos que pertenciam à tríade. Essa classificação mostrava que a média entre o peso do integrante mais leve e o peso do integrante mais pesado resultava em um valor muito aproximado ou igual ao peso do integrante intermediário da tríade (Rawson, 1974).

A título de exemplo, Döbereiner mostrou uma relação entre *strontia* (SrO) (peso do composto 50), *kalk* (ou *lime*) (CaO) (peso do composto 27,5) e *baria* (BaO) (peso do composto 72,5), respectivamente, em linguagem atual, os óxidos de estrôncio, cálcio e bário. Efetivamente, a relação estabelecida, a partir dos pesos utilizados por ele com os dados da época, fica assim expressa:

$$SrO = \frac{CaO + BaO}{2} = \frac{27,5 + 72,5}{2} = 50$$

A soma média em questão dará o valor de 50, que se refere ao valor do peso do óxido de estrôncio; isto é, o peso intermediário entre os elementos utilizados.

Ao longo de 30 anos Döbereiner estudou, entre outras coisas, relações dessa natureza. Atréadas ao peso atômico, ele se dedicou também às propriedades qualitativas dos elementos, destacando, por exemplo, características muito semelhantes do ferro, cobalto e níquel e a pouca diferença em seus pesos atômicos. Durante sua carreira, ele publicou outras tríades, como a do bromo, cloro e iodo; a do sódio, lítio e potássio; a do arsênio, fósforo e antimônio; a do selênio, enxofre e telúrio; a do nitrogênio, carbono e oxigênio (Van Spronsen, 1969).

Do ponto de vista epistêmico da construção e do estabelecimento de conhecimento científico, um dos grandes obstáculos de Döbereiner, e daqueles que o seguiram, foi o de oferecer uma explicação robusta sobre o porquê de as tríades se estruturarem daquela forma e o de definir um vínculo fenomenológico entre as propriedades dos elementos e seu peso atômico. Isto é, ainda que tivessem alcançado uma relação numérica entre os elementos e os compostos que compunham as tríades, não havia a proposição de um princípio geral que as explicassem (Tolentino; Rocha-filho; Chagas, 1997; Rawson, 1974). Essa ausência de um princípio geral, que sustente os dados empíricos e as relações estabelecidas a partir deles, deixa evidente que os dados *per se* não geram teorias, “leis e teorias científicas são elaborações/criações do intelecto humano. Não são meras sínteses indutivas do observado” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 25). Em outras palavras, um dos valores atrelados à ciência é a

unificação; a busca de um princípio geral, que organize e generalize dados empíricos e fragmentos teóricos construídos ao longo de uma pesquisa.

A falta de um princípio geral que explicasse as tríades, dificultou, inclusive, que outros químicos nortegassem suas pesquisas; afinal, as teorias têm também um papel preditivo e modelador de caminhos a serem seguidos. Dessa forma, visando aumentar o número de relações que poderiam ser feitas entre os elementos químicos, a partir de um princípio geral (ainda desconhecido) outros estudiosos deram certa continuidade, por assim dizer, aos estudos de Döbereiner (Scerri, 2008).

Leopold Gmelin (1788-1853), por exemplo, em 1827, conseguiu encontrar uma tríade para o magnésio. Ele também identificou que os próprios pesos atômicos formavam séries e, por isso, considerava que as tríades não eram mera coincidência. Não obstante, ele voltou-se quase que exclusivamente para as relações numéricas, não analisando as propriedades dos elementos (Van Spronsen, 1969). No século XIX, com técnicas laboratoriais cada vez mais acessíveis, houve um aumento considerável de dados quantitativos sobre compostos e elementos químicos disponíveis aos cientistas.

Observando a relação entre os pesos atômicos dos elementos pertencentes às tríades de uma maneira diferente, em vez de entendê-los como uma relação equivalente (o peso do segundo como sendo uma média do primeiro e do terceiro), Max Von Pettenkofer (1818-1901) a interpretou como sendo uma variação constante entre os pesos equivalentes, como na tríade do lítio, sódio e potássio. A partir disso, não limitou suas análises às relações de três elementos, relacionando, exemplificativamente, magnésio, cálcio, estrôncio e bário (todos alcalinos terrosos). Nessa série, ele percebeu que os pesos equivalentes variavam em números múltiplos de 8; informação que aparece também em trabalhos posteriores, inclusive de outros químicos, e apresenta uma relevância considerável para o desenvolvimento de classificações. Pettenkofer, propôs ainda que essa variação constante poderia ser útil para determinar pesos equivalentes de elementos que eram difíceis de se obter em laboratório (Van Spronsen, 1969).

Agregando importantes contribuições aos trabalhos de Döbereiner e Pettenkofer, nas décadas de 50 e 60 do século XIX, Jean Baptiste André Dumas (1800-1884) separou os não-metais em três grupos: do flúor, do oxigênio e do nitrogênio; relacionando os elementos desses grupos entre si. É interessante notar que as relações entre elementos e a formação de grupos, que serão explicados pela Lei Periódica posteriormente, já começavam a aparecer em um gradativo processo de conhecimento dos elementos químicos, como elementos pertencentes aos grupos dos alcalinos, alcalinos terrosos e nos já citados anteriormente. Com

efeito, “as idéias estão sempre envoltas em um conjunto de outras idéias, em um quadro teórico e experimental que exprime os conhecimentos e os valores vigentes” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 38). Nos trabalhos de Dumas, as propriedades qualitativas foram utilizadas como parâmetro para as classificações e não apenas as informações numéricas sobre os elementos (Rouvray, 2004). Apesar da grande relevância conferida aos dados empíricos no período, químicos como Dumas viram na articulação das características qualitativas e quantitativas uma oportunidade de ampliar as classificações que poderiam ser feitas com elementos e compostos das tríades.

Nessa mesma linha, Willian Odling (1829-1921), operando com diferentes propriedades dos elementos químicos — como a teoria atômica de Dalton, os minerais isomorfos¹⁹, o calor atômico²⁰, as regularidades nos volumes atômicos — e as relações dos pesos atômicos, buscou obter combinações e tentar uma possível classificação para esses elementos. Publicando seu trabalho em 1857 e mostrando muita cautela no início de suas pesquisas, ele não obteve combinações diferentes daquelas encontradas por outros químicos (Rouvray, 2004). Não obstante, na década seguinte, em 1864, ele desenvolveu uma importante classificação sistemática de 57 dos 60 elementos químicos conhecidos à época, organizando-a a partir da ordem crescente de peso atômico, como será mostrado na próxima seção deste artigo.

Os estudos citados e outros tantos, como os de Peter Kremers (1827-s/i), John Hall Gladstone (1827-1902), Josiah Parsons Cookel (1827-1894), Ernst Lenssen (1837-1898), John Mercer (1791-1866), que se dispuseram a pensar em sistematizações envolvendo principalmente tríades (e, em maior grau, relações quantitativas dos pesos equivalentes ou atômicos, em relação às relações qualitativas), foram realizados até a metade do século XIX. A química nesse período ainda não era um corpo de conhecimentos padronizado como é atualmente, não existia, por exemplo, um sistema unificado de nomenclaturas, de procedimentos, de viés teórico para o peso atômico, nem para conceitos importantes como átomo, moléculas, substâncias simples etc. Em nível conceitual, isso fazia com que surgissem trabalhos muito diferentes uns dos outros. Mathew Carey Lea (1823-1897), a título de exemplo, propôs a possibilidade de *pesos negativos* e um sistema no qual ele subtraía 44 ou

¹⁹São minerais que possuem composições diferentes, porém estrutura e/ou forma cristalográfica análoga; podem ser iguais ou com variações constantes, o que permite o estudo de um composto ou elemento a partir de outro. Isso se faz importante, principalmente no século XIX, quando um composto pode ser facilmente estudado em laboratório e outro não.

²⁰É uma grandeza obtida ao multiplicar o peso atômico pelo calor específico do elemento em questão. Esse valor constante, no século XIX, era conhecida por Lei de Dulong Petit (Maar, 2011).

45 unidades dos pesos atômicos de alguns grupos de elementos e assim ia obtendo pesos atômicos de outros elementos conhecidos na época (Van Spronsen, 1969).

Era eminente, portanto, a necessidade de uma padronização. O importante Congresso de Karlsruhe, nesse sentido, tem um valor inestimável. Ocorrido em 1860, foi o primeiro congresso especificamente de química que reuniu estudiosos de diferentes países. O que os congressistas buscavam era justamente discutir conceitos que mais divergiam nas pesquisas que realizavam, como substância, átomo, partícula, mistura, entre outros; bem como encontrar um alinhamento para os procedimentos de estabelecimento dos pesos atômicos e das nomenclaturas dos elementos (deMilt, 1951).

Com as contribuições de diversos químicos e estudiosos de outras áreas, foram realizados debates e explicitados contrapontos entre defensores de diferentes linhas de pensamento. Com efeito, “a dinâmica da produção de conhecimentos na ciência mostra um processo vivo, criativo, polêmico, questionador, argumentativo. Essa realidade contrasta com a falsa imagem de uma ciência que se apresenta como um corpo árido de fatos e conclusões” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 42). Por certo, o consenso, como meta desejável, não precisa (e talvez nem deva) ser geral (seria utópico se pensar nisso), mas certas convergências são necessárias e importantes, e esse foi um saldo positivo do congresso, como se verá a seguir.

3.3 A INEXISTÊNCIA DE UM CONSENSO QUÍMICO: A IMPORTÂNCIA DO CONGRESSO DE KARLSRUHE

No início do século XIX, alguns estudiosos passaram a determinar o peso atômico dos elementos a partir da teoria atômica de Dalton, isto é, partiam de uma perspectiva atômica da matéria para interpretar os dados empíricos. Com os dados analíticos obtidos em laboratório, era bastante simples de conhecer o peso atômico de determinado composto, caso se soubesse a fórmula dele. O problema residia na circunstância de que a fórmula química do composto só poderia ser conhecida a partir do peso atômico dos elementos que faziam parte dela. Com isso, adentrava-se em um contratempo circular, pois para conhecer bem um, se fazia necessário conhecer o outro, que só poderia ser conhecido quando o primeiro já estivesse determinado (Maar, 2011).

No período, havia aqueles que não aderiram à teoria atômica de Dalton; voltados mais fortemente à corrente filosófica positivista, argumentavam uma falta de evidência experimental à teoria, especialmente, quanto à realidade física do átomo (Oki, 2009). A

maioria desses estudiosos preferia utilizar o que ficou conhecido como peso equivalente, que foi amplamente popularizado por William Hyde Wollaston²¹ (1766-1828) e seguido por nomes como Döbereiner e Gmelin. No peso equivalente, os elementos ou compostos eram postos para reagir com uma certa quantidade padrão de um outro elemento, que na maioria dos casos era o oxigênio, já que era um elemento que se combinava com muitos outros e os estudiosos estavam acostumados a manuseá-lo²². Dessa forma, os defensores desse procedimento alegavam que os pesos equivalentes provinham de dados puramente empíricos, que não dependiam de hipóteses ainda pouco evidenciadas. Além disso, eles sustentavam que o peso equivalente não possuía o problema circular do peso atômico, isto é, da fórmula química e do peso dependerem um do outro para serem conhecidos (Rocke, 1978).

Em outras palavras, o peso atômico salvaguardava uma explicação teórica junto aos dados empíricos obtidos, mas não oferecia um manuseio experimental direto das entidades que eram tratadas na teoria. Já o peso equivalente, assegurava um tratamento majoritariamente experimental, contudo não tinha um suporte teórico-fenomenológico sobre a matéria. Por certo, os mecanismos de escolha teórica/procedimental na ciência podem ser complexos; essa disputa entre procedimentos e perspectivas de interpretar o peso dos elementos químicos, evidencia isso. As escolhas de teoria dependem do posicionamento da comunidade científica, bem como a interpretação que cada indivíduo dá aos valores atrelados às escolhas. Aqui, vê-se a formação de diferentes “escolas” de pensamento, que defendiam um ou outro lado, como a França, grandemente adepta ao peso equivalente, e a Alemanha e Itália, fortemente ligadas ao peso atômico (Oki, 2009; Maar, 2011). Cabe destacar que o âmago dessas disputas profundamente epistêmicas e procedimentais é como o vento matinal que afasta a neblina dos leitos dos rios; essa neblina que encobre a constante fluidez, o bater de pedras, as grandes mudanças que o rio sofreu durante a noite. Com o olhar atento à história da ciência é possível perceber evoluções e revoluções, disputas, avanços que, muitas vezes, vem de veias idiossincráticas, de coletivos intersubjetivos. Tudo isso sem tornar o rio menos vigoroso e a ciência menos científica.

Apesar do procedimento do peso equivalente apresentar vantagens ressaltadas pelos seus defensores, também ocorriam dissonâncias entre aqueles que o utilizavam (Rocke, 1978). Para realizar a pesagem era preciso fixar um elemento padrão; esse elemento era geralmente o oxigênio. Entretanto, cada estudioso utilizava um peso padrão diferente para ele; Wollaston

²¹Apesar de ter sido popularizado por Wollaston no início do século XIX, já no século XVII os defensores do flogístico construíram tabelas de pesos relativos utilizando os mesmos procedimentos.

²²Ao contrário do hidrogênio, que era o elemento padrão do peso atômico, era pouco combinável e o manuseio não era trivial.

utilizava 10,00, Thomas Thomson (1773-1852) 1,00 e Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) 100,00 (Maar, 2011). Isso fazia com que as tabelas desenvolvidas por eles, apesar de partirem de um mesmo procedimento, fossem todas diferentes umas das outras. O fato de os dados experimentais serem tratados sem uma teoria robusta para dar suporte, evidenciava um outro problema. Os “dados puramente empíricos”, sem uma interpretação adequada, não levavam a um caminho muito longínquo.

Com efeito, qualquer que fosse o procedimento empregado, ele abarcava inconsistências. Isso porque, na época, a experimentação, o aporte teórico e a metafísica dos conceitos e entidades envolvidas não estavam suficientemente articulados. Quer dizer, “fazemos ciência com fatos assim como construímos uma casa com pedras, mas uma acumulação de fatos não é ciência assim como não é uma casa um monte de pedras” (Poincaré, 1985, p. 115). Isso corrobora a importância da articulação de diferentes práticas que fazem parte da ciência, “O conhecimento não deriva somente da razão, da força ou capacidade autosuficiente do intelecto; tampouco resulta apenas da percepção aguçada dos sentidos, sejam eles estendidos ou não pelo auxílio de instrumental apropriado” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 25).

Berzelius foi quem buscou uma intersecção entre o peso equivalente e o peso atômico; ele dava certo tratamento atômico aos dados experimentais que obtinha. A partir da ideia de ligação entre os elementos (que foi a base para o que depois foi nomeado e enunciado em 1852, por Edward Frankland (1825-1899), como *valência*), era possível interpretar empiricamente o vapor d’água de duas formas diferentes. Na primeira delas, admitia-se que o oxigênio iria se combinar com o hidrogênio e teria um peso equivalente de 8,00, resultando na fórmula química HO. Em contrapartida, dando um tratamento atômico aos dados, assumia-se que o oxigênio iria fazer duas ligações com átomos de hidrogênio, assim o seu peso seria de 16,00 e a fórmula química H₂O. Foi esse último o caminho que Berzelius seguiu (Bachelard, 2009; Maar, 2011).

Ainda que Berzelius tenha buscado uma aproximação entre as duas perspectivas, não conseguiu traçar de forma teórica e clara essa intersecção. Ademais, é importante ressaltar que existiam outros conjuntos de dados empíricos que os estudiosos se debruçavam para ajudar na determinação dos pesos atômicos e equivalentes; um desses conjuntos foi o que ficou conhecido como Lei de Dulong-Petit.

Alexis-Thérèse Petit (1791-1820) e Pierre-Louis Dulong (1785-1838) desenvolveram um trabalho que culminou nessa referida lei e que também ficou conhecido como *calor*

atômico. Os dois partiram da premissa de que átomos individuais têm o mesmo calor atômico, que seria dado pela multiplicação do calor específico do material e seu peso atômico, ou seja, o calor atômico seria uma constante (Van Spronsen, 1967). Eles reconheciam que não era uma lei que fornecia números exatos, mas, pelo menos, dava uma ideia da magnitude dos pesos atômicos.

A Lei do Isomorfismo, enunciada por Eilhard Mitscherlich (1796-1863), na qual compostos que se cristalizavam na mesma forma seriam semelhantes na composição química, foi, igualmente, bastante utilizada pelos químicos da época para auxiliar na determinação de fórmulas químicas. Apesar de semelhantes, as composições químicas não eram iguais, o que permitia que sistematicamente elementos diferentes fossem estudados (Maar, 2011).

Em meados do século XIX, por conseguinte, havia uma expressiva quantidade de estudos teóricos e dados empíricos, mas sem uma reconciliação evidente entre eles, como supracitado.

O empirismo e o racionalismo estão ligados, no pensamento científico, por um estranho laço, tão forte como o que une o prazer à dor. Com efeito, um deles triunfa dando razão ao outro; o empirismo precisa ser compreendido; o racionalismo precisa ser aplicado. Um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas, sem leis dedutivas, não pode ser pensado nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente” (Bachelard, 1991, p. 9-10).

Em retrospectiva, pode-se perceber que o ponto central dos problemas residia na não diferenciação clara entre átomos e moléculas — além de um uso indiscriminado de palavras como substância simples e composta, corpos, partículas etc. (deMilt, 1951). Essa falta de padronização ou de clareza linguística fazia com que surgissem, por exemplo, questionamentos relacionados à divisibilidade de moléculas, que eram consideradas átomos em gases, isto é, eram consideradas partículas unas. Se a teoria de Dalton dizia que os átomos eram indivisíveis, como poderiam esses “átomos” de compostos se dividirem em outros elementos? Além disso, outra grande questão residia em como fugir do ciclo vicioso que envolvia os conhecimentos do peso atômico e da fórmula química dos compostos. Em algumas situações, também estava ficando difícil de saber quais conclusões os químicos estavam tirando a partir da teoria atômica e quais estavam sendo feitas a partir dos estudos dos pesos equivalentes (Oki, 2007).

Nesse sentido, os estudos do italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) têm um papel significativo ao que seria um caminho para a solução de alguns desses problemas. Não obstante, como nada parte do nada, “o pensamento científico [...] não se desenvolve in

vácuo” (Koyré, 1991, p. 204), ele foi fortemente influenciado pelos estudos de Amedeo Avogadro (1776-1856). No início da década de 1800, Avogadro havia realizado uma diferenciação entre átomos e moléculas ao estudar as não concordâncias entre a teoria atômica de Dalton e a lei dos volumes de Gay-Lussac, principalmente no que se refere a divergência do volume de vapor d’água. A partir de seus estudos, Avogadro concluiu que havia na molécula de água, duas unidades do mesmo elemento²³, nesse caso hidrogênio, o que dificultou a circulação de suas pesquisas entre seus pares na época, já que se acreditava que partículas de um mesmo elemento se repeliam (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, no prelo).

Cannizzaro, entendendo que os escritos de Avogadro deveriam ser amplamente difundidos e discutidos, e utilizando, para além dos estudos avogadronianos, conhecimentos de Dumas e Regnault, desenvolveu sua própria concepção atômico-molecular. Ele reproduziu os estudos de densidade do vapor d’água que Dumas havia feito, só que agora considerando que na molécula de água havia 2 e não apenas 1 átomo de hidrogênio. Uma das conclusões que obteve, que depois apareceu em seu *Esquema de um Curso de Filosofia Química*, de 1858, é que “[...] volumes iguais dessas substâncias, sejam simples ou compostas, contêm igual número de moléculas: não, porém, igual número de átomos, pois moléculas de diferentes substâncias ou da mesma substância em diferentes estados, podem conter diferentes números de átomos, sejam da mesma natureza ou de naturezas diversas” (Cannizzaro, 1947, p. 1).

Com isso, Cannizzaro diferenciava-se da perspectiva dos estudiosos do período, que diziam que volumes iguais de substância simples no estado gasoso contém o mesmo número de átomos. Para esses estudiosos, tais átomos se combinam em moléculas, que depois de se unirem não se separariam mais — como se fosse um átomo composto, uma única partícula, que, para os estudos de termodinâmica, funcionavam muito bem. Contudo, com essa concepção surgiam imprecisões linguísticas e conceituais sobre átomos, moléculas, substâncias, essas palavras eram utilizadas como sinônimos, sem especificar sobre o que se estava tratando (Oki, 2006).

A clara diferenciação entre átomos e moléculas e o resgate dos escritos de Avogadro foram os pontos mais importantes do trabalho de Cannizzaro, apresentado em Karlsruhe. Com ele, o italiano conseguiu fazer uma intersecção entre os trabalhos de Dalton, Wollaston, Gay-Lussac, Avogadro, Berzelius, Gerhardt e outros.

²³“2x moléculas de hidrogênio combinam-se com x moléculas de oxigênio para produzir 2x moléculas de vapor d’água, sendo x um número inteiro. Como há (pelo menos) um átomo de oxigênio em cada uma das duas moléculas de vapor d’água que se originam da combinação de duas moléculas de hidrogênio com uma de oxigênio, a molécula de oxigênio possui (pelo menos) dois átomos” (Peduzzi, 2019, p. 51).

O famoso congresso supracitado, que ocorreu na cidade de Karlsruhe, na Alemanha, nos dias 3, 4 e 5 de setembro de 1860 foi idealizado, conforme Maar (2011), para resolver uma “confusão babilônica”²⁴, algo muito apropriado já que diversas das centelhas que o fizeram surgir estavam relacionadas à linguagem química. Cannizzaro fez a sua fala no congresso no terceiro dia. Naquele momento, não chamou muito a atenção dos participantes, mas o seu colega de delegação, Angelo Pavesi, o ajudou a distribuir o escrito de seu estudo; que assim se disseminou entre os presentes. Dentre as pessoas que receberam o *Esquema de um Curso de Filosofia Química* e o lhe atribuíram a devida importância estão Mendeleev e Meyer — ambos desenvolveram em datas muito próximas um sistema periódico para os elementos químicos (Maar, 2011).

Conforme registros históricos, o importante Congresso Internacional de Karlsruhe recebeu 127 pesquisadores e professores de química, em sua maioria, mas não exclusivamente²⁵ (Stock, 1933). Além de Mendeleev, Meyer, Cannizzaro, Robert Bunsen (1811-1899), Odling, Alexandr Porfirevich Borodin (1833-1887), Henry Roscoe (1833-1915), Dumas também se fizeram presentes na ocasião. Karl Weltzien (1813-1870), um de seus organizadores, ressaltou a importância de um dos propósitos do encontro: o de se chegar a um acordo para vários conceitos químicos a fim de promover um ensino de química mais padronizado, com o rigor científico que carecia; afinal, conceitos de base da química eram amplamente difundidos com diferentes significados (Maar, 2011).

Visando uma unificação, uma padronização e, sobretudo, buscando um diálogo entre os químicos, sem a imposição de dogmas, Friedrich August Kekulé (1829-1896) sensibilizou Charles Adolf Wurtz (1817-1894) e Karl Weltzien para a promoção do evento. Durante a execução do congresso, nomes conhecidos da química ajudaram em sua organização. Weltzien presidiu o primeiro dia, Jean-Baptiste Joseph Dieudonné Boussingault (1802-1887) o segundo e Dumas o terceiro. Além disso, foram nomeados cinco secretários: Wurtz, Roscoe, Kekulé, Adolph Strecker (1822-1871) e Lev Nikolaevitch Schischkov. A função deles era permitir que quem quisesse participar das discussões tivesse voz e que aqueles já consagrados

²⁴No sentido da torre de Babel.

²⁵Em fontes secundárias que tratam do congresso existe certa discordância do número de participantes que estiveram presentes no congresso. Contudo, Alfred Stock (1933) em seu trabalho intitulado “*Der internationale Chemiker-Kongreß, Karlsruhe 3–5. September 1860 vor und hinter den Kulissen*” (Congresso Internacional de Químicos, Karlsruhe 3–5. Setembro de 1860 os precedentes e os bastidores) apresenta diversos documentos do congresso, dentre eles uma lista assinada a mão contendo 127 participantes. Nessa lista encontram-se os sobrenomes dos químicos e a cidade de onde vieram. Dos 127 que tem registro se sabe que 57 vieram da Alemanha, 21 da França, 18 da Inglaterra, 7 da Áustria e outros 7 da Rússia, 6 da Suíça, 4 da Suécia, 3 da Bélgica, 2 da Itália, 1 de Portugal, 1 da Espanha e 1 do México.

acadêmicos não se alongassem demais em suas falas, deixando espaço para múltiplas perspectivas circularem (Stock, 1933; deMilt, 1948).

Na circular do congresso, criada a partir de uma reunião entre Kekulé, Weltzien e Wurtz em março de 1860, os seus objetivos já eram bem estabelecidos: “definições mais precisas dos conceitos de átomo, molécula, equivalente, atonicidade, alcalinidade, etc; discussões sobre os verdadeiros equivalentes dos corpos e suas fórmulas, preparação de um plano para uma nomenclatura racional” (deMilt, 1951, p. 421). Essa demanda por definições e padronizações voltava-se não apenas ao ensino, mas à própria construção da ciência química, que carecia de uma clara comunicação e coerência entre os cientistas. Afinal, como explicitado na referida circular:

A química atingiu um estado de desenvolvimento que, aos signatários, parece necessário um encontro com um grande número de químicos, ativos nessa ciência, envolvidos com pesquisa e ensino, para que se aborde uma unificação de alguns pontos importantes (deMilt, 1951, p. 421)²⁶.

Por certo, não era esperado que, em um único evento, se resolvessem todas as demandas necessárias, mas que se levasse para a comunidade a importância e a magnitude das discussões que ali seriam estabelecidas.

Embora não se espere que o encontro convocado consiga harmonizar completamente as opiniões divergentes, os signatários estão convencidos de que deveria ser possível, por esse meio, pelo menos preparar o caminho para um acordo desejável sobre essas questões importantes (deMilt 1951, p. 421)²⁷.

Efetivamente, o congresso de Karlsruhe não resolveu todos os problemas da química, (nem poderia e nem era o seu objetivo) como já era esperado. Mas atingiu seu propósito ao proporcionar um espaço de discussões entre os estudiosos ali presentes. Consequentemente, visava-se um melhor entendimento entre eles, sobretudo em termos de linguagem e procedimentos nos estudos que estavam realizando. É possível citar, sumariamente, alguns pontos importantes que surgiram a partir do encontro: i) o estabelecimento de uma unidade para símbolos, nomes e formas de representar os elementos e as fórmulas químicas dos compostos; ii) o reconhecimento de que substâncias como o oxigênio, o nitrogênio e o hidrogênio eram diatômicos; iii) a preferência pela utilização do peso atômico ao peso equivalente; iv) a busca por uma química mais universal e coerente (Maar, 2011).

²⁶Trecho original da circular.

²⁷Trecho original da circular,

Após o evento, os organizadores e outros estudiosos presentes escreveram relatórios sobre os acontecimentos do congresso. Dentre os escritos, pode-se citar o do jovem Mendeleev que, com seus 26 anos e ainda no período de seu doutoramento, escreveu o seu relato um dia após o término do evento. Em suas palavras, percebe-se a importância do que presenciou na ocasião:

O Congresso de química apenas acabou em Karlsruhe e já produziu um efeito tão notável na história de nossa ciência que eu considero um dever, mesmo que em poucas palavras, descrever todas as sessões do congresso e os resultados que alcançaram. A principal razão pela convocação de um congresso internacional de química, foi o desejo de esclarecer e, se possível, concordar nas diferenças básicas que existem entre os seguidores de diferentes escolas químicas (Mendeleev apud deMilt, 1951, p. 422).

Mendeleev, discriminando as principais discussões de cada dia, salienta que no primeiro dia debateu-se sobre a diferença entre átomos, moléculas, equivalente e a questão da medida do peso atômico. No segundo dia, à luz das reflexões já realizadas, distinguiu-se átomos e moléculas, “considerando uma molécula como uma quantia de substância entrando em reação e determinando propriedades físicas, e considerando átomos como a menor quantidade de uma substância presente em uma molécula”, diz Mendeleev, conforme explicita deMilt (1951, p. 422). Aliás, acordou-se que equivalente seria uma informação inteiramente empírica, independente do entendimento teórico de átomos ou moléculas. Mendeleev explica que havia uma espécie de votação, entre os presentes, para se chegar a um acordo sobre os temas levantados. “O resultado foi inesperadamente unânime e importante. Entendendo a diferença entre átomos e moléculas, químicos de todos os países compreenderam o princípio de um sistema unitário”, afirma ele (deMilt, 1951, p. 422). Com efeito, “a geração de um novo conhecimento, a solução de um problema, é o resultado de um processo de investigação cercado de muitas variáveis, que nada tem de linear ou trivial. A sua publicidade e avaliação pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência” (Peduzzi, Raicik, 2020, p. 33).

A medida do peso atômico se deu no terceiro dia de evento e o mais debatido foi o peso do carbono. Na ciência, é “legítima a procura por critérios que buscam conferir identidade aos interesses mantidos por comunidades de diferentes tradições de conhecimento” (Peduzzi, Raicik, 2020, p. 20), assim ficou decidido, não por unanimidade, que os estudiosos passariam a adotar o peso do carbono como 12 e não 6. Não obstante, houve consideráveis ponderações sobre isso. Dumas, por exemplo, chegou a sugerir que na química orgânica o

valor adotado fosse 12 e na química inorgânica fosse 6. Porém, “contra isso Cannizzaro falou acaloradamente, mostrando que todos deveriam usar o mesmo peso atômico novo. Não houve votos sobre essa questão, mas a grande maioria ficou do lado de Cannizzaro” (Mendeleev apud deMilt, 1951, p. 422). Mendeleev salienta, por fim, conforme apresenta deMilt, que os presentes mantiveram grande respeito uns com os outros e que “tudo isso, parece-me, é uma garantia total do rápido sucesso das ideias do agora no futuro” (1951, p. 422).

Em síntese, e o evento é um ensinamento disso, “os cientistas lidam com suas diferenças e com os desafios da subjetividade discutindo, dando publicidade a seus trabalhos (em correspondências, nas reuniões científicas, nos periódicos) para a análise dos pares e chegando, normalmente, a amplos consensos” (Peduzzi, Raicik, 2020, p. 42).

3.4 OS REFLEXOS DO CONGRESSO DE KARLSRUHE E OS PRIMEIROS SISTEMAS — QUASE — PERIÓDICOS

Com os avanços da década de 1850 e, principalmente, com as discussões e reflexões advindas do congresso de Karlsruhe, formou-se um cenário favorável para o desenvolvimento de classificações que abrangessem cada vez mais elementos e que relacionassem de forma mais robusta seus pesos atômicos, com suas propriedades qualitativas e o grupo a que faziam parte. Nota-se, de forma bastante interessante, como cada estudioso utilizou as ferramentas que tinha em mãos na época para desenvolver sua classificação. Essa dissemelhança, envolvendo aspectos que, em vias de uma pura e descontextualizada “reconstrução racional”, seriam considerados supérfluos por serem subjetivos, desempenhou um papel importantíssimo nesse processo de construção.

Curiosamente, o primeiro estudioso que publicou uma classificação para os elementos químicos após o congresso em Karlsruhe não foi um químico, mas um geólogo e mineralogista. Alexandre Emile Béguyer De Chancourtois (1820-1886)²⁸, mesmo sem ter participado do evento, entrou em contato com os relatórios e as discussões realizadas. Ele trabalhou com sistematizações nos campos da mineralogia, geologia, geografia e filosofia (Giunta, 2021). Durante seus estudos, seguiu o lema *Les propriétés des corps sont les propriétés des nombres* (“As propriedades dos corpos são as propriedades dos números”), que o ajudou a fazer relações necessárias em seus estudos geológicos e mineralógicos, bem como em sua classificação dos elementos (Hartog, 1889).

²⁸A quem Van Spronsen (1969) chamou de “um sistematizador por natureza”.

De Chancourtois, no início da década de 1860, estava desenvolvendo um estudo litológico, o qual demandava um sistema que reunisse as substâncias simples. Já havia trabalhos de geólogos no período que envolviam elementos químicos e temas da geologia em si, como o de Jean-Baptiste Armand Louis Léonce Élie de Beaumont (1798-1874) — conhecido como Élie de Beaumont — que classificou 59 elementos conhecidos na época de acordo com sua eletropositividade, organizando também uma distribuição geográfica desses elementos. O próprio De Chancourtois utilizou os trabalhos Beaumont em seus estudos (Hartog, 1889).

Não obstante, em 1862, De Chancourtois publicou sua classificação, denominada *Vis Tellurique* ou, traduzindo para o português brasileiro, *parafuso telúrico*. O nome dado à classificação desponta de duas especificidades. A primeira delas é que o elemento telúrio figurava bem ao centro da sistematização (Tolentino; Rocha-Filho; Chagas, 1997). A segunda, não menos importante, é que ele tinha um significado especial; “o epíteto Tellurique [...] lembra muito, felizmente, a origem geognóstica, pois Tellus significa terra no sentido mais positivo, mais agrícola, no sentido Terra Nutritiva” (Van Spronsen, 1969, p. 100).

Sua sistematização é tridimensional. Formando um cilindro, os elementos são distribuídos em um eixo que espirala em 45° em torno dele. Em uma linha horizontal a esses elementos divisa-se o seu nome completo e seu peso atômico²⁹, já na linha vertical encontra-se novamente seu peso ou seu peso acrescido de 16 unidades ou seus múltiplos. Nas linhas verticais, ao longo da espiral, também é possível encontrar os elementos que foram classificados como sendo do mesmo grupo. São eles, por exemplo, lítio, sódio, potássio e rubídio (alcalinos), bem como em outra linha oxigênio, enxofre, selênio e telúrio (família do oxigênio). Fica aparente na Figura 1 que entre o potássio e o rubídio se encontra o manganês e depois do rubídio, na mesma linha, estão o tálio e o tório, que não fazem parte dos alcalinos. Na família do oxigênio isso também acontece; tem-se entre o enxofre e o selênio, o titânio e o ítrio³⁰ e entre o selênio e o telúrio, o molibdênio e o cádmio; ainda depois do telúrio se encontra o ósmio. Todos esses elementos citados, que não fazem parte dos alcalinos ou da família do oxigênio, são elementos de transição, aqueles que atualmente ocupam um bloco central na Tabela Periódica contemporânea e que não interferem nos outros grupos (Giunta, 2021).

²⁹Para alguns elementos ele utilizou o peso atômico que era aceito na época e para outros ele dividiu por dois.

³⁰No Vis Tellurique está representando como Yt, hoje o ítrio tem o símbolo Y.

Figura 1: Parte superior do Parafuso Telúrico.

IS TELLURIQUE"

9

7 Avril 1862

VIS TELLURIQUE
CLASSEMENT NATUREL DES CORPS SIMPLES OU RADICAUX
obtenu au moyen d'un
SYSTÈME DE CLASSIFICATION HÉLICOÏDALE ET NUMÉRIQUE
par A.E. BÉGUER DE CHANCOURTOIS

		Tableau des Caractères Géométriques														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Hydrogène	H	1														
Lithium	Li	7														
Glucium	Gl	9														
Bore	B	11														
Carbone	Ca	12														
Azote	N	14														
Oxygène	O	16														
Fluor	F	19														
Sodium	Na	23														
Magnésium	Mg	24														
Aluminium	Al	27														
Silicium	Si	28														
Phosphore	P	31														
Soufre	S	32														
Chlore	Cl	36														
Potassium	K	39														
Calcium	Ca	40														
Titane	Ti	48														
Chrome	Cr	52														
Manganèse	Mn	55														
Fer	Fe	56														
Nickel	Ni	59														
Cobalt	Co	59														
Cuivre	Cu	63														
Vanadium	V	63														
Zinc	Zn	66														
Zirconium	Zr	67														
Arsenic	As	75														
Brome	Br	79														
Selenium	Se	80														
Strontium	Sr	87														
Barium	Ba	89														
Lanthane	La	91														
Cerium	Ce	92														
Molybdène	Mo	96														
Vanadium	V	96														
Yttrium	Y	100														
Thallium	Tl	103														
Rhodium	Rh	104														
Palladium	Pd	107														
Argent	Ag	108														
Cadmium	Cd	112														
Etain	Sn	115														
Thorium	Th	119														
Uranie	U	120														
Antimoine	Sb	121														
Cobaltum	Co	124														
Iode	I	127														
Tellure	Te	128														
Tantale	Ta	184														
Tungstène	W	185														
Iridium	Ir	197														
Platine	Pt	198														
Or	Au	200														
Mercur	Hg	204														
Ruthenium	Ru	205														
Osmium	Os	208														
Bismuth	Bi	209														

"tellurique" of Béguier de Chancourtois (upper part: simplified by the present author)

Fonte: Van Spronsen, 1969.

Quando submeteu seu trabalho à publicação, De Chancourtois decidiu simplificar a classificação, por ter achado rebuscada demais. Com isso, algumas relações foram suprimidas, fazendo com que sua classificação não abarcasse todos os elementos conhecidos no período. No ato de publicação do *Vis Tellurique*, os editores não publicaram a imagem da classificação. Assim, infelizmente, a comunidade científica não encontrou, sequer, uma ilustração simplificada de sua classificação, o que dificultou o entendimento de sua estrutura, contribuindo para o não reconhecimento de seu trabalho. Uma figura muito simples só foi

publicada, e, portanto, viabilizada entre os pares, um ano depois, de forma independente (Van Spronsen, 1969). De fato, “podem ser bastante complexos e sutis os mecanismos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento” (Peduzzi, Raicik, 2020, p. 34).

Apesar de ter sido um dos primeiros a estabelecer de forma explícita uma relação entre o peso atômico e as propriedades dos elementos, mostrando uma repetição periódica das propriedades, De Chancourtois não chegou a desenvolver um enunciado teórico para essa função. Além do mais, as ideias e a linguagem que utilizou para desenvolver o trabalho estavam impregnadas com o estilo de pensamento da mineralogia e da geologia, o que dificultou, de mesmo modo, a disseminação de sua sistematização (Tolentino; Rocha-Filho; Chagas, 1997).

Em 1889 uma tradução do trabalho de De Chancourtois foi publicada na *Nature* pelo químico P. J. Hartog (1864-1947). Nessa edição, ele apresenta ponderações entre a tabela chancourtoisiana e a de Mendeleev, que havia sido publicada em 1869. Assim, evidenciou a semelhança de todos os elementos estarem organizados a partir de seu peso atômico que, em consequência, trazia relações numéricas importantes entre eles. Ademais, Hartog mostra que essas relações não se encerravam numericamente no peso atômico dos elementos, mas refletiam em suas propriedades físico-químicas, inclusive. Apesar de trazer importantes considerações, a formação de De Chancourtois em geologia e a dificuldade de visualização de sua sistematização tridimensional, acrescida da omissão de sua imagem quando de sua publicação original, são alguns dos elementos que influenciaram a baixa difusão e o indevido reconhecimento de seu estudo. A ciência não é imune a interesses e valores da comunidade.

Entretanto, outras classificações para os elementos químicos começam a surgir, como a desenvolvida pelo químico inglês John Alexander Newlands (1837-1898). Apesar de também não estar presente no congresso de Karlsruhe — pois estava lutando no *Risorgimento* italiano (batalhas que buscaram a unificação do território italiano), no exército de Giuseppe Garibaldi (1807-1882)³¹ — o evento teve um impacto em seu trabalho. Quando retornou à Inglaterra, Newlands, começou a se interessar por questões debatidas no congresso, mas não necessariamente nos consensos lá estabelecidos, restringindo-se inicialmente apenas aos escritos de Dumas. Por isso, muitas de suas publicações desse período, principalmente até 1863, não receberam muita atenção; por possuírem informações e relações ou desatualizadas ou insuficientes para a comunidade científica em geral; já versadas em demais parâmetros pós-Karlsruhe (Giunta et al., 2021).

³¹A mãe de Newlands era italiana.

No entanto, ao entrar em contato com os escritos de Cannizzaro, dentre outros, Newlands construiu primeiramente um sistema baseado em tríades. Depois, ainda no mesmo ano, relacionou as propriedades qualitativas dos elementos com a progressão aritmética dos pesos atômicos. Isso fez com ele percebesse que essas propriedades se repetiam a uma certa série de elementos, especificamente a cada sete (Giunta et al, 2021). Newlands fez, então, uma analogia com as oitavas musicais, na qual um tom retorna a uma oitava maior a cada sete tons. No caso de sua tabela, as propriedades eram repetidas a cada sete elementos (Figura 2).

Figura 2: Sistematização de Newlands, construída a partir da Lei das Oitavas.

Table II.—Elements arranged in Octaves.

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50	
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51	
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52	
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53	
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54	
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55	
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56	

Fonte: Chemical Society, 1866.

Apesar de apresentar dissonâncias, como a de pesos atômicos, grupos de elementos incompletos ou simplesmente a incoerência entre a posição do elemento na tabela e a propriedade físico-química que deveria apresentar, Newlands acreditou que teria encontrado uma *lei* e não apenas construído uma sistematização, a “Lei das Oitavas”.

Newlands externalizou que estava consciente de que em sua sistematização havia algo como uma *lei* que auxiliava na estruturação da própria tabela e atuava na organização dos elementos. Em 1866, ao apresentar seu trabalho para a Chemical Society em Londres, ele foi questionado — de forma sarcástica — por George Carey Foster (1835-1919), físico-químico bastante conhecido no período, se sua sistematização consistia em simplesmente organizar os elementos em ordem alfabética. Além disso, questionaram as analogias que fez com a teoria musical (Maar, 2011; Leite, 2019). Por certo, o trabalho de Newlands não teve muito reconhecimento, “suas bases taxonômicas eram consideradas vagas ou confusas” (Dmitriev, 2004, p. 268). Entretanto, em 1887, portanto onze anos depois, ele recebeu a medalha Davy of the Royal Society, em homenagem às suas pesquisas.

Com efeito, a aceitação de uma determinada teoria está atrelada a diferentes parâmetros que não apenas o estrito “conteúdo” científico conceitual. Existem preferências idiossincráticas, inspirações e relações que permeiam a ciência e os estudiosos.

Uma sistematização em séries de 5 elementos também foi desenvolvida nesse período, e publicada em 1864, por Willian Odling supracitado (Figura 3). Ela foi mais ampla que a de Newlands, no sentido de que abrangeu todos os elementos. Todavia, nem todos eles estavam colocados em lugares adequados em termos dos grupos a que faziam parte e na ordem crescente de seus pesos atômicos (Van Spronsen, 1969; Tolentino; Rocha-Filho; Chagas, 1997). Sua sistematização possuía cinco colunas, que abrigavam grupos e subgrupos de elementos a partir de suas relações de peso e outras propriedades. Ele derivou seu sistema do fenômeno de analogias relativas à isomorfia dos compostos. Odling foi o primeiro a fazer a inversão do Telúrio e do Iodo e, em seu sistema, podem ser encontradas organizações de elementos em grupos que só serão vistas novamente nas tabelas de Mendeleev e Meyer.

Figura 3: sistematização de Odling, publicada em 1864.

				{ Ro 104	Pt 197
				{ Ru 104	Ir 197
				{ Pt 106·5	Os 199
				Ag 108	Au 196·5
..... H 1	.....	.....	.....	Cd 112	Hg 200
.....	.....	Zn 65	.....	.....	Tl 203
..... L 7	.....	.....	.....	.....	Pb 207
..... G 9	.....	.....	.....	.....	.....
..... B 11	Al 27·5	.....	.....	U 120	.....
..... C 12	Si 28	.....	.....	Sn 118 .....	.....
..... N 14	P 31	As 75	.....	Sb 122	Bi 210
..... O 16	S 32	Se 79·5	.....	Te 129 .....	.....
..... F 19	Cl 35·5	Br 80	.....	I 127	.....
..... Na 23	K 39	Rb 85	.....	Cs 133	.....
..... Mg 24	Ca 40	Sr 87·5	.....	Ba 137 .....	.....
	Ti 50	Zr 89·5	.....	Ta 138	Th 231·5
	.....	Ce 92	.....	.....	.....
	Cr 52·5	Mo 96	.....	{ V 137 .....	.....
	{ Mn 55	.....	.....	{ W 184	.....
	{ Fe 56	.....	.....	.....	.....
	{ Co 59	.....	.....	.....	.....
	{ Ni 59	.....	.....	.....	.....
	{ Cu 63·5	.....	.....	.....	.....

Fonte: Odling, 1864.

Evidenciando uma efervescência no desenvolvimento de sistematizações cada vez mais robustas, e sobremaneira derivadas de ponderações realizadas no Congresso de

Karlsruhe, nessa década tem-se a publicação do manual científico “As teorias modernas da química e seu significado para a estática química”, por Julius L. Meyer, em 1864. Nessa obra, além da importante divulgação da concepção atômico-molecular de Cannizzaro, Meyer apresenta sua primeira tentativa de arranjar os elementos a partir do peso atômico e da valência. Em sua primeira tabela (Figura 4), ele arranja 50 elementos fazendo com que 28 deles apresentassem uma mudança regular na valência. Cabe destacar que nesse período ele ainda não falava em periodicidade (Boeck, 2021).

Figura 4: Tabela de Meyer presente na obra “As teorias modernas da química”.

	4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
Differenz =	—	—	—	—	Li = 7,03	(Be = 9,3?)
	—	—	—	—	16,02	(14,7)
Differenz =	C = 12,0	N = 14,04	O = 16,00	Fl = 19,0	Na = 23,05	Mg = 24,0
	16,5	16,96	16,07	16,46	16,08	16,0
Differenz =	Si = 28,5	P = 31,0	S = 32,07	Cl = 35,46	K = 39,13	Ca = 40,0
	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	44,0	46,7	44,51	46,3	47,6
Differenz =	—	As = 75,0	Se = 78,8	Br = 79,97	Rb = 85,4	Sr = 87,6
	$\frac{89,1}{2} = 44,55$	45,6	49,5	46,8	47,6	49,5
Differenz =	Sn = 117,6	Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0	Ba = 137,1
	89,4 = 2.44,7	87,4 = 2.43,7	—	—	(71 = 2.35,5)	—
Differenz =	Pb = 207,0	Bi = 208,0	—	—	(Tl = 204?)	—

Fonte: Boeck, 2021.

Meyer, dentre outras atividades acadêmicas, continuou dedicando-se à classificação dos elementos químicos. Nos anos posteriores, empenhou-se em estudar grupos isolados de elementos em que havia uma variação regular dos pesos atômicos, da valência e das propriedades físico-químicas dos elementos. Em 1868, enquanto Meyer escrevia uma segunda edição do livro “As teorias modernas da química”, ele elaborou uma nova sistematização que englobava, agora, 52 daqueles 56 elementos conhecidos à época.

Essa tabela não publicada de Meyer apresenta muitas semelhanças com aquela que, em 1869, vai ser publicada por Mendeleev e amplamente disseminada e conhecida, até os dias de hoje. Meyer não falava sobre a característica periódica do arranjo que tinha feito. Ele não externaliza, por assim dizer, uma consciência epistêmica da natureza daquilo que havia

construído; por certo ele admitia uma relação entre os elementos e seus pesos atômicos, mas ainda não conseguia explicá-la, assim como o fez Mendeleev no ano seguinte.

Essa classificação, todavia, não foi publicada; ficando arquivada na Universidade de Eberswalde, na qual Meyer trabalhou até 1868, sendo encontrada somente pelo geólogo e mineralogista Adolf Remelé (1839-1915), que não divulgou o rascunho da sistematização enquanto aconteciam as disputas de prioridade pela Lei Periódica. Remelé só tornou público o documento no obituário que escreveu em homenagem à morte de Meyer em 1895 (Boeck, 2021).

Importa ressaltar que, em 1870, Meyer publica devidamente um novo sistema periódico e, em razão desse e de trabalhos anteriores, inclusive a não publicada classificação de 68, ele disputou com Mendeleev a prioridade pela descoberta da Lei Periódica (Scerri, 2015). Apesar de não ser objeto desse artigo em particular, pode-se salientar, como o faz Norwood Hanson (1967), que “um conceito não analisado é um conceito desconhecido” (p. 321), e assim, descobertas só podem ser mais bem compreendidas quando submetidas a análises de distintas naturezas (Lorenzetti, Raicik, Peduzzi, 2023).

De qualquer forma, Mendeleev desenvolveu sua classificação para os elementos químicos enquanto escrevia um manual de química inorgânica, intitulado *Principles of Chemistry*. Essa necessidade didática (e científica) fez surgir a sua Tabela e a sua Lei Periódica, certamente não sem diversas incursões por sistematizações que já vinham sendo elaboradas. Mendeleev foi o primeiro a enunciar explicitamente a relação de periodicidade entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas “Os elementos dispostos de acordo com seu peso atômico representam uma clara periodicidade de propriedades” (Mendeleev, 1869, p. 76).

É bastante comum encontrar narrativas, no âmbito didático, paradidático, de divulgação da ciência, afirmando que Mendeleev chegou à forma final de sua Tabela Periódica através de um mero sonho (Brito; Rodríguez; Niaz, 2005; Mehlecke *et al.*, 2011; Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022). Sem uma devida contextualização histórica, ou uma mínima vigilância epistemológica, ignora-se uma conjuntura científica e profissional do próprio químico, e o arcabouço teórico que possuía. A narrativa do “sonho do Mendeleev” acaba ignorando diversos fatores relevantes da história da Tabela Periódica e sua natureza, mas isso é objeto de análise em outro artigo.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resgate, ainda que breve, de distintas sistematizações e preocupações que permearam, sobretudo, a década de 1860 e antecedem a publicação da então bem conhecida Tabela Periódica de Mendeleev, evidenciam a relevância de trazer à tona abordagens mais contextuais ao ensino de ciências. Afinal, uma “abordagem lógica, ahistórica e linear/sequencial dos conteúdos, veiculada pelo livro didático (e por outros materiais de ensino), é uma simplificação (grosseira) que ressalta apenas os resultados da ciência” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 32); e, particularmente com o desenvolvimento da Tabela Periódica, essas outras sistematizações são, normalmente, negligenciadas.

A ênfase em apenas um produto ahistórico da ciência, “transforma grandes questões científicas, com múltiplos problemas filosóficos, em mero conjunto de experiências de um empirismo simplista. Descartam por completo a fina tessitura epistemológica das teorias científicas, perdendo, portanto, todo caráter educativo” (Lopes, 1993, p.327). Nesse sentido, negligencia-se a coletividade, os complexos processos de aceitação e escolhas de teorias, as idiosincrasias presentes na construção e anuência de conhecimentos, as dinâmicas e a importância de congressos científicos, a valorização e preferência de diferentes parâmetros para desenvolver pesquisas, entre outros fatores que fazem parte da ciência e da construção de conhecimentos. Esses aspectos, quando levados ao ensino de ciências, por exemplo, podem auxiliar na desconstrução de uma visão de ciência a-histórica e isolada da dinâmica social. A ciência é e constrói cultura, em um incansável processo de inter-relações e interdependências.

Até mesmo resgates restritos à figura de Mendeleev simplificam sua imagem de cientista, ignorando, por exemplo, que ele foi antes de tudo um professor de Química, formado em Licenciatura. Talvez por isso e, pelos seus interesses particulares, sua escrita seja bastante fluida e entremeada por reflexões pedagógicas e filosóficas atreladas à química. Reaver a importância do Congresso de Karlsruhe é fundamental para se compreender a magnitude da transcrição da *Faraday Lecture* de Mendeleev quando ganhou o *Faraday Prize* em 1889, na qual relembra as sistematizações que o antecederam, o impacto do congresso, seu processo de construção da Tabela e os acontecimentos que sucederam à sua publicação.

Aliás, o próprio Mendeleev deixa bem marcado como as pesquisas que buscavam uma relação entre os pesos atômicos e uma classificação para os elementos químicos, refletindo suas propriedades físico-químicas, foram centrais para a química do século XIX. Desde as tríades de Döbereiner até a primeira publicação de Meyer, que antecederam os desdobramentos posteriores como o da Tabela Periódica de Mendeleev, muitos

conhecimentos foram construídos, como se buscou evidenciar. As discussões relacionadas aos procedimentos de determinação dos pesos atômicos, da nomenclatura dos elementos e compostos, dos dissensos linguísticos e conceituais relativos a átomos, moléculas, substâncias, entre outros, são exemplos claros disso. A realização do congresso de Karlsruhe, motivado sobretudo por pesquisadores que trabalhavam com classificações de elementos, atingiu distintos campos da química, em particular, e da ciência em geral.

A variedade de sistematizações surgidas no século XIX, evidencia a multiplicidade de perspectivas e pesquisas que estavam surgindo na ciência daquele período; enquanto a química presenciava uma infinidade de novos compostos, procedimentos, equipamentos, perspectivas de interpretação, ela passava também por um processo de institucionalização como campo de pesquisas e disciplina. Bachelard, ao falar desse florescimento da química, reforça que “por trás de todo pluralismo pode-se reconhecer um sistema de coerência” (2009, p. 8).

Existe na ciência um propósito de sistematizar, organizar, classificar os conhecimentos construídos; o próprio ato de classificar — o sistema criado por trás disso — é construção de um novo conhecimento. O que Mendeleev fez em 1869 foi justamente expor o sistema que estava por trás das classificações; ele deu uma explicação fenomenológica para a periodicidade das propriedades dos elementos químicos. Mas como se buscou evidenciar, ele não fez isso desprovido de concepções; o conhecimento não parte do nada. Há uma história, que inclui distintas sistematizações, que precisa ser explicitada, discutida, problematizada, inclusive e principalmente no ensino.

As contribuições de Döbereiner, De Chancourtois, Newlands, Meyer e tantos outros, podem facilitar a compreensão de como o próprio Mendeleev desenvolveu a sua Tabela que, infelizmente, é normalmente a que mais é apresentada e/ou discutida no ensino de ciências e ainda retratada como fruto direto de um mero sonho de Mendeleev (Lorenzetti, Raicik, Damasio, 2022). Ademais, um resgate histórico como o aqui desenvolvido, ainda que sucinto, permite evidenciar a importância dos encontros científicos, da interlocução institucional comum entre os estudiosos e como, em maior ou menor medida, eles estavam em contato com ideias semelhantes; dentro de um arcabouço teórico próximos ou díspares. Certamente, isso subsidia um entendimento mais amplo da influência que diversas teorias da época tiveram na construção “das” tabelas periódicas (Brito; Rodríguez; Niaz, 2005).

Salienta-se, portanto, a importância de olhar para história da ciência valorizando não apenas seus produtos, seus resultados, mas também seus processos, suas práticas,

subjetividades. O apagamento e/ou esquecimento de cientistas, teorias, procedimentos, disputas teóricas, só faz com que a própria ciência fique mais árida, mais longe da dinamicidade humana que lhe é inerente.

Essa história da ciência — plural, que se propõe a fazer uma contextualização espaço-temporal, estabelecendo inter-relações entre os conhecimentos científicos e entre os estudiosos — mostra-se profícua e desejável ao ensino de ciências, como a literatura atesta há décadas (Matthews, 1995; Peduzzi, 2001; Silva; Gastal, 2008; Teixeira, Greca, Freire Junior, 2012; Moura, 2014; Raicik, Peduzzi, 2015; Cardoso, Forato, Rodrigues, 2019). Afinal,

Relatos de episódios históricos cuidadosamente reconstruídos configuram-se modelos de natureza da ciência de cada contexto sócio-histórico-cultural, e podem conferir significado às noções epistemológicas abstratas desvendando os diferentes processos que levaram à construção de conceitos (Forato, Pietrocola, Martins, 2011, p. 29).

Dar vez e voz, através dos originais ou fontes secundárias fidedignas, a cientistas que fizeram suas contribuições ao desenvolvimento científico é valorizar e promover, inclusive, a cultura científica.

REFERÊNCIAS

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Lisboa: Abril Cultural, 1991.

BACHELARD, G. **Pluralismo coerente da química moderna**. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

BANCHETTI-ROBINO, M. P. Ontological tensions in sixteenth and seventeenth century chemistry: between mechanism and vitalism. **Foundations of chemistry**, v. 13, p. 173-186, out., 2011.

BOECK, G. The Periodic Table of the Elements and Lothar Meyer. In: **150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium**. Springer International Publishing, 2021. p. 195-214.

BRITO, A.; RODRÍGUEZ, M. A.; NIAZ, M. A reconstruction of development of the Periodic Table based on History and Philosophy of Science and its implications for General Chemistry Textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 1, 2005.

CANNIZZARO, S. **A Sketch of a course of chemical philosophy** (1858). Edimburgo: E. & S. Livingstone, 1947.

CARDOSO, M. L. D.; FORATO, T. C. M.; RODRIGUES, M. L. L. Ciência e epistemologia em sala de aula: Uma perspectiva histórica para a teoria de Lamarck. **Filosofia e História da Biologia**, v. 14, n. 1, p. 45-78, 2019.

CHEMICAL SOCIETY: Proceedings of societies. **Chemical News**. v. 13, p. 113-114, 1866.
deMILT, C. The congress at Karlsruhe. **Journal of Chemical Education**, v. 28, n. 8, p. 421, 1951.

deMILT, C. Carl Weltzein and the congress at Karlsruhe. **Chymia**, v. 1, p. 153-169, 1969.

DMITRIEV, I. S. Scientific discovery in statu nascendi: The case of Dmitrii Mendeleev's. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 34, n. 2, 2004.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28 n. 1, p. 27-59, 2011.

GOLDFARB, A. M. A. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1987.

GIUNTA, C. J. Vis Tellurique of Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois. In: **150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium**. Springer International Publishing, 2021. p. 61-91. GIUNTA, C. J.; MAINZ, V.; POOLE-SAWYER, J. Periodicity in Britain: The Periodic Tables of Odling and Newlands. In: **150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium**. Springer International Publishing, 2021. p. 93-131.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321-352, 1967. <https://doi.org/10.2307/2024301>.

HARTOG, P. J. A first foreshadowing of the periodic law. **Nature**, v. 41, n. 1052, p. 186-188, 1889.

KEDROV, B. M. On the Question of the Psychology of Scientific Creativity. **Soviet Psychology**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 18-37, 1966.

KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento filosófico**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

LEITE, B. S. O Ano Internacional da Tabela Periódica e o Ensino de Química: das cartas ao digital. **Química Nova**, v. 46, n. 2, 2019.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. **Enseñanza de las Ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; DAMASIO, F. “O Sonho de Mendeleiev” e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de

aspectos de natureza da ciência. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 209-236, 2022.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: Ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 25, p. e46058, 2023.

LORENZETTI, C. S., RAICIK, A. C., PEDUZZI, L. O. Q. Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI. **Actio: Docência em Ciências**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2024.

LORENZETTI, C. S., RAICIK, A. C., PEDUZZI, L. O. Q. Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século XIX, no prelo.

MAAR, J. H. **História da Química: De Lavoisier ao Sistema Periódico (Segunda Parte)**. Florianópolis: Editora Papa-Livro, 2011.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-224, 1995.

MEHLECKE, C. M.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, 2011.

MENDELEEV, D. The relation between the properties and atomic weights of the elements. **Journal of the Russian Chemical Society**, v. 1, 1869³².

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

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEDUZZI, L. O. de Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. **Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 19–55, 2020.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019a).

³²Менделѣва, Д. Соотношеніе свойствъ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ. ЖУРНАЛЫ РУССКАГО ХИМИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА, томъ. I, 1869.

POINCARÉ, J. H. A ciência e a hipótese. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1985.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAWSON, D. C. The process of discovery: Mendeleev and the periodic law, **Annals of Science**, v. 31, n. 3, 1974.

ROCKE, A. J. Atoms and equivalents: The early development of the chemical atomic theory. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v. 9, p. 225-263, 1978.

ROUVRAY, Dennis H. Elements in the history of the Periodic Table. **Endeavour**, v. 28, n. 2, p. 69-74, 2004.

ODLING, W. On the proportional numbers of the elements. **Quarterly Journal of Science**, v. 1, p. 642-648, 1864.

OKI, M. C. M. **A história da química possibilitando o conhecimento da natureza da ciência e uma abordagem contextualizada de conceitos químicos**: um estudo de caso numa disciplina do curso de Química da UFBA. Doutorado em Educação, Universidade Federal da Bahia, 2006.

OKI, M. C. M. O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. **Química Nova na Escola**, v. 26, p. 24-28, 2007.

OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, 1072-1082, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400043>.

SCERRI, E. The role of triads in the evolution of the periodic table: past and present. **Journal of Chemical Education**, v. 85, n. 4, p. 585, 2008.

SCERRI, E. The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 373, n. 2037, 2015.

SILVA, C. C.; GASTAL, M. L. Ensinando ciências e ensinando a respeito das ciências. *In: Quanta ciência há no ensino de ciências*, p. 35-44, 2008.

STOCK, A. **Der Internationale Chemiker-Kongreß, Karlsruhe: 3.-5. Sept. 1860 vor und hinter den Kulissen: zur 38. Hauptversammlung der Deutschen Bunsen-Gesellschaft in Karlsruhe, 25.-28. Mai 1933**. Berlin: Verlag Chemie, 1933.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JUNIOR, O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. *In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). Temas de história e filosofia da ciência no ensino*. Natal: EDUFRN, 2012. p. 9-40.

TOLENTINO, M.; ROCHA, R. C.; CHAGAS, A. P. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. **Química nova**, v. 20, p. 103-117, 1997.

Van SPRONSEN, J. W. The history and prehistory of the law of Dulong and Petit as applied to the determination of atomic weights. **Chymia**, v. 12, p. 157-169, 1967.

Van SPRONSEN, J. W. **The periodic system of chemical elements**: a history of the first hundred years. Amsterdam: Elsevier, 1969.

4 *ELEMENTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS ENVOLVIDOS NA CONSTRUÇÃO DA TABELA PERIÓDICA DE DMITRI IVANOVICH MENDELEEV*

Resumo: A Tabela Periódica dos Elementos Químicos é um constructo da ciência bastante conhecido no ensino, no entanto a gênese de seu desenvolvimento costuma ser negligenciada. Este artigo apresenta um estudo histórico-epistemológico da Tabela e Lei Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev, buscando problematizar narrativas simplistas, tanto a que confere todo o processo de sua descoberta a um mero “sonho” de Mendeleev, àquela vulgar organização dos elementos em ordem de seu peso atômico. Enaltece-se pequenos recortes biográficos mendeleevianos que, junto ao resgate histórico desse episódio, propicia trazer à tona distintos aspectos sobre a ciência, com vias de promover reflexões dessa natureza ao ensino de ciências.

Palavras-Chave: Tabela Periódica; Mendeleev; História da Ciência; Natureza da Ciência.

4.1 INTRODUÇÃO

Uma descoberta científica possui uma estrutura conceitual e epistemológica (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2023). No entanto, ainda é comum que se encontre “histórias” de descobertas científicas que narram apenas aquilo que é considerado “lógico”, livre de subjetividades; somente aquilo que se admite, imprecisamente, ser próprio da ciência, como cruzamentos teóricos e experimentais. Em outras palavras, negligencia-se todo o processo de uma descoberta, com sua gênese, seu desenvolvimento, seu curso temporal o que, inevitavelmente, ofusca e distorce sua estrutura conceitual e epistêmica. Em uma perspectiva historiográfica contemporânea, uma história whig³³, uma pseudo-história³⁴, uma quase-história³⁵ não podem mais ser sustentadas (Whitaker, 1979; Peduzzi; Raicik, 2020).

Com a história de construção da Tabela Periódica e da Lei Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907) o anseio por uma mera reconstrução “lógica”, distorcida e descontextualizada, ainda se mantém no ensino em geral, com seus materiais didáticos, e na própria divulgação científica (Kedrov, 1966; Brito; Rodríguez; Niaz, 2005; Mehlecke *et al.*, 2011; Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022). É comum, nesses contextos, encontrar duas narrativas particulares: uma delas se refere à Lei Periódica, em que se afirma que bastaria para

³³Em que se tem apenas relatos meramente cronológicos, presentistas, anacrônicos.

³⁴Que simplifica e omite distintos elementos da gênese e desenvolvimento do conhecimento.

³⁵Que falsifica e desfigura a história com fins específicos.

qualquer estudioso, independentemente de sua carga teórica, arranjar os elementos em séries a partir da ordem de seus pesos atômicos para que, então, fácil e inevitavelmente, emergissem as repetições periódicas das propriedades dos elementos; a outra, com caráter mais anedótico, enaltecendo de forma extremamente simplificada e neutra os arcabouços teórico-conceituais de Mendeleev, proclama que após ter cochilado sobre sua mesa, teria sonhado com a posição de todos os elementos perfeitamente organizados, logo, descobrindo a Tabela Periódica (Kedrov, 1966).

Embora o próprio Mendeleev tenha reforçado em seu *Principles of Chemistry* (Mendeléeff, 1891) que, considerando o avanço dos estudos naquele momento, outro pesquisador teria chegado à Lei Periódica se ele não o tivesse feito, e ainda, mesmo que não se saiba ao certo se ele sonhou ou não com a organização dos elementos, essas questões demandam uma análise aprofundada e detalhada que envolve distintas características da ciência. Inclusive perpassam a noção do que significa, em termos conceituais, históricos e epistemológicos, descobrir algo.

O “suposto sonho de Mendeleev” é um acontecimento que não foi registrado por ele em seus diários ou notas de trabalho (Kedrov, 1966, 2007; Baylor, 2001). A narrativa surgiu na segunda década do século XX, praticamente 10 anos após o falecimento de Mendeleev, quando um amigo seu, Alexander Alexandrovich Inostrantsev (1843-1919), contou que, ao visitá-lo nos dias em que ele estava trabalhando na classificação dos elementos, ele o havia relatado que em um sonho lhe foi revelada a organização sequencial dos elementos e que assim teria conseguido construir a sua Tabela Periódica (Kedrov, 1966). Mas, ainda que Mendeleev tenha de fato sonhado, senão com uma classificação completa dos elementos, mas com uma troca de orientação dos elementos (Kedrov, 1966), “via de regra, o acaso beneficia os pesquisadores que estão imersos em determinada investigação” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 40) e isso não pressupõe neutralidade. Aliás, um acaso, um sonho, um momento imprevisto ou até mesmo os erros, como importantes elementos que podem estar relacionados à estrutura de uma descoberta científica, figuram um processo “pouco ou nada linear e [mesmo] ‘racional’, embora com frequência se apresente dessa maneira em livros texto, em reconstruções históricas e nos relatos dos cientistas” (Piccolino; Bresadola, 2013, p. 5).

Comumente, essa narrativa do suposto sonho destaca que Mendeleev estava muito apressado para terminar a Tabela, mas geralmente não explicam o porquê dessa impaciência. Por que essa ânsia por terminar a Tabela rapidamente? Por que Mendeleev sentiu a necessidade de desenvolvê-la durante a escrita de um manual científico? Quem foi

Mendeleev? Quais as diferenças entre as sistematizações desenvolvidas antes de 1869 e a mendeleeviana em particular? O que, na época, se entendia por elemento químico e se torna relevante para essa e as demais sistematizações? Se o sonho não foi o responsável pela “descoberta” da Lei Periódica, tampouco a simples ordenação dos elementos em ordem de seus pesos atômicos, como foi o caminho da descoberta para Mendeleev? Aliás, o que significa descobrir alguma coisa na ciência e que estrutura conceitual e epistemológica uma descoberta carrega?

Essas e outras questões evidenciam a necessidade de transpor narrativas acríticas e descontextualizadas sobre esse episódio histórico. Uma perspectiva historiográfica contemporânea reconhece a importância de se evidenciar uma ciência mais contextual e menos idealizada. Aspectos teóricos, psicológicos, subjetivos, sociais foram importantes para que Mendeleev conseguisse chegar aos resultados que obteve (Kedrov, 1966). Inclusive, outras sistematizações que haviam sido desenvolvidas antes dele, e mesmo em concomitância com a dele, também tiveram influência. Para além de acontecimentos pessoais de Mendeleev — sua vida político-pública, sua carreira docente, a escrita de manuais científicos, entre outros — há um grande arcabouço de reflexões advindos da epistemologia da ciência e da historiografia contemporâneas que evidenciam que não se pode excluir fatores do próprio contexto científico da química e da cultura à qual a comunidade científica estava imersa na época. Isso, certamente, ajuda a compreender como e o que levou o químico russo a buscar uma organização para os elementos. Ademais, uma contextualização dessa natureza permite entender não apenas a gênese e o desenvolvimento de sua Tabela e Lei Periódica, mas alguns dos mecanismos envolvidos em sua ampla aceitação na Rússia, então Império Russo, e em outras regiões da Europa.

Uma análise da Tabela Periódica de Mendeleev, a partir de seu processo de construção e com a ampla variedade de conceitos físicos e químicos que envolve, pode contribuir para um ensino cada vez mais reflexivo e contextual, que mostre uma conjuntura espaço-temporal da ciência e evidencie suas inter-relações e intersubjetividades. Com efeito, reconhece-se que esse percurso perpassa por sistematizações como as Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, Alexandre É. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, Julius Lothar Meyer (1830-1895) e sua tabela relacionando valência e peso atômico dos elementos (Brito; Rodríguez; Niaz, 2005; Lorenzetti, Raicik, Peduzzi, 2024), dentre outras.

Não obstante, como em qualquer recorte histórico, a perspectiva que aqui se apresenta não é a de negligenciar outras sistematizações, mas contextualizar histórica e epistemologicamente a tabela mendeleeviana. Isso, pois, a fim de contrapor uma narrativa simplista de que Mendeleev, pura, neutra e simplesmente, descobriu o manto que escondia a Tabela; que ali se apresentava pronta, desprovida de pressupostos teóricos, alheia e independente do sujeito-estudioso que com ela se depararia. Afinal, uma pesquisa histórica inicia-se com uma situação-problema e, como enaltece Helge Kragh (2001), o historiador — e aqui transcende-se ao educador — “escolhe essa situação problemática em consonância com o seu desejo de tratar um determinado tema” (p. 142).

Desta forma, visa-se trazer um olhar histórico-epistemológico da Tabela Periódica de Mendeleev, partindo da polêmica envolvida em seu suposto “sonho”, comumente disseminado. São abordados pequenos recortes biográficos do químico que, junto ao resgate histórico desse episódio, propicia trazer à tona distintos aspectos sobre a ciência, com vias de promover reflexões dessa natureza ao ensino de ciências.

4.2 DMITRI IVANOVICH MENDELEEV

Dmitri Ivanovich Mendeleev (Figura 1) nasceu em Tobolsk, cidade que fica localizada na Sibéria, Rússia (atual), em 1834. Foi o décimo quarto filho de Ivan Pavilovich Mendeleev (1783-1847), professor de literatura russa que, por problemas de saúde, parou de lecionar enquanto Mendeleev ainda era criança, e Maria Dmitrievna Kornilova (1793-1950), que passou a gerir uma fábrica de vidros de sua família paterna assim que seu marido não pôde mais trabalhar. Kornilova faleceu quando Mendeleev tinha entre 15 e 16 anos. Contudo, antes disso, a mãe garantiu que ele tivesse uma educação metropolitana. Primeiro, em 1849, quando o pai de Mendeleev já havia falecido, mudou-se com ele e uma de suas irmãs de idade próxima para Moscou, onde não conseguiu matricular o filho na Universidade por problemas burocráticos. A família foi então para São Petersburgo e, tendo o diploma ginásial aceito no Instituto Principal Pedagógico, que era basicamente um anexo da Universidade de São Petersburgo que tinha como função a formação de professores, Mendeleev inicia seu ensino superior em um curso que seria o equivalente, atualmente, a uma licenciatura. Ele ingressou no ensino superior em 1850, com apenas 16 anos de idade, no mesmo ano que sua mãe faleceu de tuberculose (Kedrov, 2007; Mainz, 2018; Scerri, 2019).

Figura 1: Mendeleev em 1855, por volta dos seus 21 anos.



Fonte: MUCT, s/d.

Esse é um aspecto pouco enfatizado em resgates históricos que perpassam pela vida de Mendeleev; sua formação de base é em Licenciatura. Ele foi, antes de tudo, um professor. No Instituto Principal Pedagógico, matriculou-se no curso que se alocava na área de físico-matemática, escolhendo a química como área de aprofundamento, graduando-se em 1855. Nesse mesmo ano, foi nomeado professor do *Simferopol Gymnasium*, pelo Ministro da Educação (com quem, por sinal, tinha desavenças); mas a escola se encontrava fechada por causa da Guerra da Crimeia, impossibilitando que Mendeleev lecionasse. Depois de 2 meses sem conseguir outro emprego, ele se vê “obrigado” a se mudar para a cidade de Odessa, onde seria professor no Liceu Richelieu, mantendo-se lá até 1856. Visando complementar sua renda, escrevia colunas para as revistas que circulavam pelas metrópoles russas como “Notícias das ciências naturais”, “Jornal do Ministério da Educação Pública” e “Notas Industriais” (Kedrov, 2007).

Desde sua graduação, Mendeleev interessava-se e já trabalhava com pesquisas científicas. Dentre as suas principais influências durante sua formação básica, pode-se citar a dos professores: Aleksandr Abramovich Voskresensky (1808-1880), sobre o qual há notas de aulas preservadas, em que Mendeleev detalha experimentos feitos por ele; Johann Friedrich von Brandt (1802-1879), um zoólogo que trabalhava com classificação de animais; Stepan Semyonovich Kutorga (1805-1861), geólogo e mineralogista que orientou Mendeleev na

análise química de ortossilicato e piroxênio, ensinando-lhe técnicas de pesquisa; e Nikolay Alekseevich Vyshnegradsky (1821-1872), um pedagogo que o influenciou em seu posicionamento e olhar para e com a educação (Gordin, 2019).

Ao se graduar, Mendeleev concluiu uma pesquisa intitulada “Isomorfismo em associação com outras relações de forma para a composição” (Kedrov, 2007). Durante sua estadia em Odessa, escreveu sua dissertação de mestrado, “Volumes Específicos”, sendo uma ampliação de suas pesquisas anteriores, nas quais relacionava propriedades químicas das substâncias, com cristalografia e volume específico. Obteve seu título de mestre em 1856, pela Universidade de São Petersburgo, reafirmando ideias do químico Charles Frédéric Gerhardt, expressando sua concordância com as teorias unitária e de tipo e opondo-se à teoria eletrolítica de Jöns Jacob Berzelius sobre a formação de compostos químicos (Kedrov, 2007).

Nesse mesmo ano, escreveu um manuscrito sobre as estruturas dos compostos de silício, que lhe permitiu obter, *pro venia legendi*, um cargo de livre-docente na Universidade de São Petersburgo. Após três anos, mudou-se para a Alemanha e lecionou na Universidade de Heidelberg, trabalhando, inclusive, com Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen (1811-1899), no laboratório em que atuavam Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) (Kedrov, 2007; Gordin 2019). Não estabelecendo boa relação com os colegas de trabalho, Mendeleev montou um pequeno laboratório na Universidade para que pudesse seguir com seus estudos. Com efeito, “os estudiosos são humanos, e como em qualquer interação social as características idiossincráticas interferem, tanto nas expectativas que se criam quanto efetivamente nos (tipos) de vínculos que se estabelecem entre as pessoas” (Raicik, 2023, p. 8). Em 1860, seu último ano por lá, anunciou a identificação da temperatura crítica, fenômeno ao qual um gás pode ser liquefeito a partir da aplicação de pressão, que intitulou de “temperatura absoluta de ebulição”. Ainda na Alemanha, desenvolveu pesquisas fazendo um contraponto entre a experimentação com gases e vapores e os resultados esperados através dos *gases ideais* (Gordin, 2019).

Cabe destacar, ainda, que nesse ano de 1860, mesmo sem ter iniciado seu doutoramento, Mendeleev participou do importante Congresso Internacional de Karlsruhe, que ocorreu na Alemanha. Na ocasião, ele ficou bastante entusiasmado com as discussões que presenciou, principalmente no que se refere às falas de Stanislao Cannizzaro (1826-1910); aliás ele recebeu o escrito *Esquema de um Curso de Filosofia Química*, que Cannizzaro havia distribuído no evento. O entusiasmo de Mendeleev fica evidente, também, em carta que ele escreveu ao professor Voskresensky, descrevendo os acontecimentos do evento e os resultados

dos principais debates. Esses comentários acabaram sendo publicados nos Diários de São Petersburgo (jornal da cidade) no mesmo ano. Mais tarde, é possível observar nos trabalhos de Mendeleev os reflexos que as ideias apresentadas no Congresso surtiram em seu posicionamento teórico.

Retornado à Rússia, Mendeleev voltou a ocupar seu cargo de livre-docente na Universidade de São Petersburgo. Suas preocupações nesse momento voltam-se à química orgânica, e resultaram na publicação do artigo “Tentativa sobre uma teoria de limites de compostos orgânicos”, em 1861. Após sua experiência de três anos na Alemanha, Mendeleev percebeu que, em relação àquele país, os manuais científicos russos estavam ausentes de novidades da química da época. Assim, ele se incumbiu da tentativa de fornecer à Rússia livros-texto de qualidade para o ensino, o que resultou, em 1863, na publicação de seu manual de “Química Orgânica” (Kedrov, 2007). Os estudiosos, em seus trabalhos, são influenciados por suas crenças e valores; aqui, certamente, a veia docente mendeleeviana o inspirou a desenvolver um material didático que abarcasse assuntos contemporâneos e atualizados da química.

Mendeleev recebeu o título de doutor em 1865, quando finalizou sua tese intitulada “Sobre os compostos de álcool com água”, na qual estudou a solubilidade do álcool em água. Nessa tese, ele:

desenvolveu pela primeira vez a ideia de que as soluções são compostos químicos, de modo que dissolver uma substância em outra deveria ser visto como idêntico a outras formas de combinação química. Nessa tese também aderiu aos princípios do atomismo químico (Kedrov, 2007, p. 1902).

Entre 1864 e 1868, a Rússia passava por uma crise econômica e política o que estimulou Mendeleev a se envolver com diversos problemas práticos que surgiram em seu país envolvendo a química, a indústria e a agricultura. Ele chegou a comprar uma propriedade rural para aplicar técnicas de ciências agrárias em plantações, a fim de mostrar que alguns procedimentos químicos poderiam auxiliar em um crescimento saudável das plantas e boas colheitas (Kedrov, 2007). Aliás, ele juntou-se à *Sociedade de Economia Livre*, que auxiliava pequenos agricultores a melhorarem suas produções, principalmente após a abolição tardia da servidão na Rússia. Nessa associação, Mendeleev fazia “conferências sobre agricultura experimental, cooperativas de produção de queijo e experiências com diferentes fertilizantes” (Kedrov, 2007, p. 1902). Para além de sua vida acadêmica, Mendeleev manteve uma vida pública. Durante esse período, inclusive, ele teve um papel protagonista na criação da

Sociedade Química Russa, além de dar aulas no Instituto Tecnológico de São Petersburgo (1864-1866) (Mainz, 2018).

Mendeleev foi nomeado para a cátedra de química na Universidade de São Petersburgo, dois anos após seu doutoramento. Nesse período, percebeu que os livros de química inorgânica também precisavam de uma renovação. Ao lecionar, ele não encontrava material didático que considerasse adequado para suas aulas, assim resolveu escrever ele mesmo um manual: o conhecido *Principles of Chemistry (Princípios de Química)*, que teve seu primeiro volume publicado já em 1868. Para a escrita do livro, seguiu as concepções atômico-moleculares de Cannizzaro e os estudos de Gerhardt, ambos compatíveis.

Desde o início de sua vida acadêmica, Mendeleev esteve envolvido com pesquisas sobre propriedades químicas dos elementos e suas relações com a massa e o peso atômico. Quando a Tabela Periódica foi publicada em 1869, o químico russo já tinha, pelo menos, 15 anos de estudos e pesquisas sobre classificações, propriedades físico-químicas (das mais variadas, como volume específico, isomorfia, cristalografia, valência) e o peso desses compostos. O conhecimento não vem de uma *tabula rasa*; o contexto filosófico, econômico, político, religioso da ciência à época, a trajetória de um estudioso, com seu envolvimento com estudos precedentes, suas crenças e valores, influencia fortemente o desenvolvimento científico. Particularmente no caso de Mendeleev, a construção de um ambiente favorável tanto do ponto de vista da comunidade científica de química da época — com a criação de sua Sociedade, a promoção do primeiro Congresso Internacional, o desenvolvimento conceitual e metodológico da química enquanto disciplina — quanto do próprio Mendeleev — em relação a sua formação base, seu envolvimento para além da academia e dentro dela, seus interesses científicos — são exemplo disso.

4.3 *PRINCIPLES OF CHEMISTRY* E A TABELA PERIÓDICA DE MENDELEEV

Os manuais científicos, livros didáticos e livros-texto nem sempre existiram na educação da forma como se conhece hoje. A tradição de escrever manuais científicos foi mais fortemente estabelecida no século XIX; antes disso as obras originais dos estudiosos eram correntemente utilizadas em contextos educacionais. No caso da química, em particular, a própria escrita de manuais científicos auxiliou na construção e consolidação química enquanto disciplina, promovendo uma padronização daquilo que era ensinado em instituições de ensino superior (Simon, 2008; Robinson, 2019).

Uma prática bastante comum nos manuais de química era o exercício de organizar uma sequência para apresentar os elementos químicos a partir de classificações já elaboradas à época, como a Lei das Tríades de Döbereiner. Nesse caso, partindo do parâmetro quantitativo do peso, os elementos ou compostos eram reunidos em tríades (grupos de três), na qual o peso do elemento intermediário era a média entre o peso do elemento mais leve e o mais pesado (Van Spronsen, 1969; Rawson, 1974). Não obstante, por não englobar todos os elementos conhecidos, os autores de materiais didáticos e os próprios professores (de distintos níveis de ensino), precisavam mobilizar estratégias pedagógicas para apresentar, da forma que achassem mais adequada, os elementos que “sobravam” e os compostos que eles formavam (Simon, 2008; Robinson, 2019).

Com Mendeleev não foi diferente. Abdicando da Lei das Tríades e utilizando a teoria de tipo de Gehardt — que agrupa os elementos a partir de sua valência — o químico russo elaborou o seu *Principles of Chemistry* supracitado, em dois volumes. No primeiro deles, publicado em 1868, composto por quatorze capítulos, ele faz uma grande introdução à química inorgânica, abordando assuntos já bem estabelecidos entre os estudiosos da época. Por exemplo, os compostos da água, Leis de Dalton, Gay-Lussac e Avogadro-Gerhardt e Berthollet, compostos de nitrogênio e carbono, agrupamentos de elementos conhecidos, além de uma parte específica sobre átomos e moléculas (Mendeléeff, 1891).

Visando a continuidade de sua obra, em um segundo volume, Mendeleev se deparou com algumas dificuldades. Ele já havia tratado sobre os grupos (ou famílias) de elementos conhecidos na época, mas não havia encontrado, ainda, uma maneira de abordar os elementos que ficaram de fora dessas classificações. Buscando incansavelmente essa solução, seu foco tornou-se, então, desenvolver uma sistematização que abarcasse todos esses elementos (Scerri, 2007). Em princípio, essa necessidade surgiu para continuar sua obra didática, mas em retrospectiva, como a história mostra, o contorno a essa dificuldade oportunizou um novo conhecimento à ciência.

O segundo volume do *Principles* possui uma forma interessante não apenas por apresentar em um manual científico (e não em um artigo, por exemplo) um novo conteúdo científico recentemente construído, mas por perpassar tanto o conteúdo conceitual propriamente dito, quanto reflexões *sobre* a ciência, práticas e pensamentos dele mesmo, Mendeleev, sobre a construção da Lei Periódica (Mendeléeff, 1891).

Mendeleev finaliza o primeiro volume de sua obra tratando dos halogênios e inicia os primeiros capítulos do segundo volume tratando dos metais alcalinos e alcalinos terrosos. O

certo é que em fevereiro de 1869, esses dois outros capítulos, que configurariam o início do segundo volume, estavam prontos, mas o problema fundamental já perpassava sua mente. Qual grupo de elementos se aproximava dos alcalinos, em termos de propriedades, que pudessem configurar uma continuidade para sua obra? (Kedrov, 1966).

Nos inúmeros documentos oficiais de Mendeleev que estão preservados nos arquivos da Universidade de São Petersburgo, é possível identificar anotações sobre a organização periódica dos elementos que ele estava elaborando nesse período (Kedrov, 1966). Isso, certamente, permite que se compreenda melhor como suas ideias foram se desenvolvendo. Acontece que, como membro da *Sociedade de Economia Livre*, supracitada, Mendeleev tinha algumas funções a cumprir; uma delas, a de oferecer seminários sobre produção de queijos a cooperativas da região. Nesse sentido, comunicou à Universidade que faria uma viagem à cidade de Tver, no final de fevereiro. Como destaca Kedrov (1966), o químico russo, nessa data, encontrava-se sob pressão; ele sabia que, quando retornasse de sua viagem continuaria dando aulas e precisaria do final do livro para lecionar. “Estudiosos e cientistas têm preferências pessoais e vida privada, que, em maior ou menor grau, exercem influência sobre o seu trabalho [...] são humanos que pensam, sonham, devaneiam, sofrem, criam expectativas e, literalmente, vivem” (Raicik, 2023, p. 2-3).

As primeiras anotações referentes a possíveis combinações de elementos, encontradas nos arquivos mendeleevianos, é datada de 17 de fevereiro, dia de sua viagem, aliás. Tudo indica que ele havia recebido uma carta da *Sociedade de Economia Livre* naquele dia, e a teria lido enquanto fazia sua refeição matinal. Isso porque há uma marca de fundo de caneca com café nessa carta; o documento trazia informações sobre sua viagem.

Na parte de trás da carta, há rabiscos de Mendeleev, comparando o grupo dos metais alcalinos com outros grupos de metais e calculando as diferenças de seus pesos atômicos (Kedrov, 1966). Ademais, é possível encontrar comparações entre grupos de elementos considerados dissemelhantes, mas que tiveram seus pesos atômicos contrastados. Isso mostra como o químico estava buscando diferentes estratégias para conseguir obter uma classificação, um artifício para apresentar os elementos. De certa forma, o primeiro passo direto para o desenvolvimento da Lei Periódica já havia sido dado aqui; ele iniciou comparações entre elementos a partir de seus pesos atômicos. Apesar desse rascunho mostrar que ele ainda não tinha encontrado nenhuma regularidade, ele seguiu por esse caminho (Gordin, 2019).

Importa lembrar que, como supracitado, em sua tese de doutoramento, Mendeleev já utilizava concepções de Cannizzaro, a saber, uma concepção atômico-molecular baseada nos estudos de Avogadro que definia explicitamente átomos e moléculas e, conseqüentemente, oferecia um tratamento atômico para a matéria. Contudo, ainda não era consenso na comunidade química de que a matéria deveria ser estudada a partir da teoria atômica; também, havia muito menos concordância no que se refere ao caráter *real* dos átomos. Mendeleev, mesmo utilizando abertamente a perspectiva atômico-molecular de Cannizzaro, tecia diversas ressalvas no que concerne à realidade dos átomos; utilizando aquilo que lhe era útil da teoria, mas mantendo-se ambivalente quanto às discussões que envolviam defender ou não a existência real dos átomos (Niaz; Rodríguez; Brito, 2004).

Mendeleev, entretanto, chegou a um impasse; todos os elementos classificados por ele até o momento eram amplamente conhecidos; com raras exceções, eles se encaixavam em termos de peso e propriedades no local que deveriam estar, eram poucos os ajustes que precisava fazer. Quando ele foi para os elementos que eram menos conhecidos seus problemas começaram a aumentar; ficou mais difícil arranjar os elementos, pois os ajustes necessários eram muito grandes. Primeiro, ele precisava arrumar os elementos nos seus próprios grupos e depois teria de conseguir encaixar esse grupo em sua Tabela. Foi então que Mendeleev utilizou uma saída criativa, de certa forma lúdica, para seu problema: ele fez uma analogia com um jogo de cartas conhecido como *paciência*, que era jogado por ele em seus momentos de lazer (Kedrov, 2007). Por certo, a fonte de inspiração na ciência é bastante diversificada. Analogias e metáforas têm potencial na edificação de conhecimentos científicos. Mendeleev estava arduamente pensando sobre os elementos, unindo-os, separando-os, comparando-os; os próprios *insights* na ciência precisam ser analisados à luz do contexto em que surgem, permeados por pressupostos, envolvimentos conceituais e epistemológicos.

Em um outro rascunho desse mesmo período, Mendeleev iniciou uma série de outras classificações, nas quais alocou alguns não metais a fim de comparar seus pesos atômicos (Figura 2). Como se pode perceber, com exceção do telúrio, todos os outros elementos seguem uma ordem crescente de pesos atômicos, considerando as colunas de baixo para cima (essa informação vai ser importante posteriormente). Além disso, ele começou a perceber uma certa regularidade nas diferenças dos pesos atômicos (exemplo: F e O = 3; O e N = 2; N e C = 2; Cl e S = 3; S e P = 1; P e Si = 3) (Scerri, 2007).

Figura 2: Arranjo de elementos obtidos após o “jogo de paciência química” de Mendeleev

**Schema for Laying Out “Chemical Patience by
Analogy with the Common Card
Game of Patience***

Li=7	Na=23	Ca=40	Sr=87	Ba=137
	F=19	K=39	Rb=85	Cs=133
	O=16	Cl=35	Br=80	I=127
	N=14	S=32	Se=79	Te=128
	C=12	P=31	As=75	Sb=122
		Si=28		Sn=118
		Mg=24	Zn=65.2	Cd=112
			Cu=63.4	Ag=108

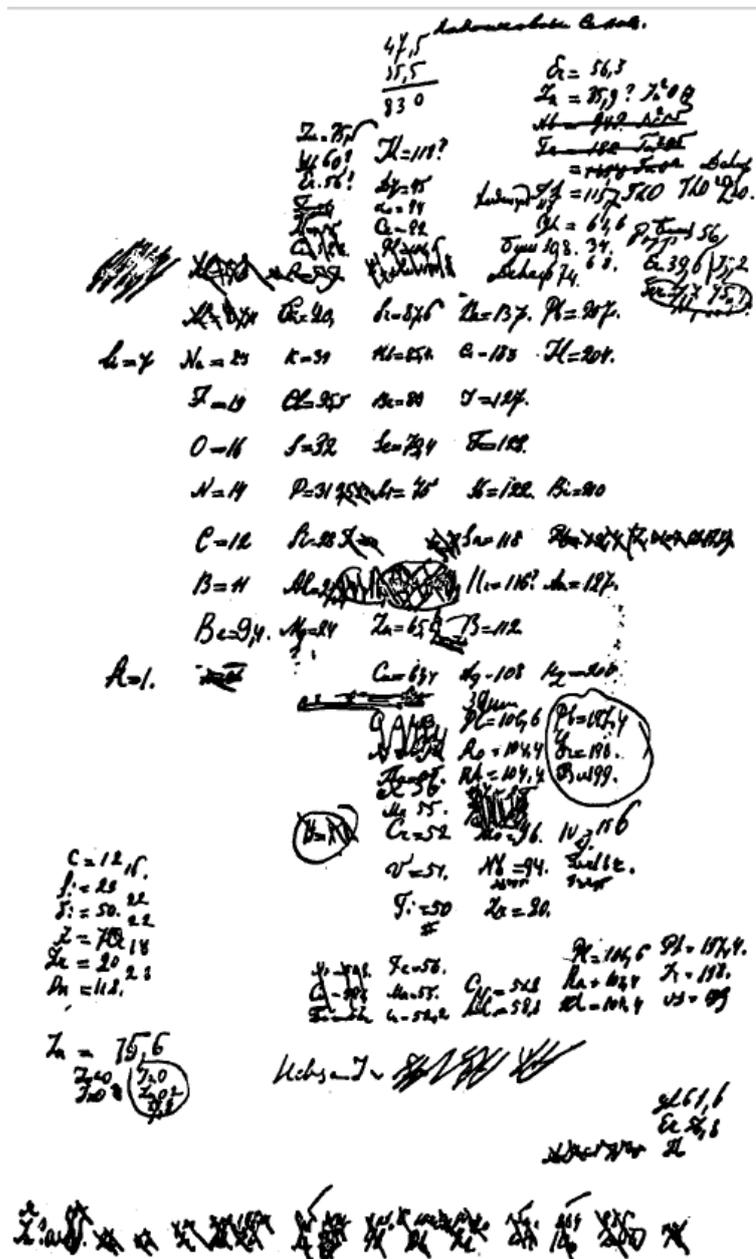
Fonte: Kedrov, 1966.

O químico russo não foi o primeiro a utilizar uma sequência de cartas para auxiliar na organização daquilo que estava classificando. Gerhardt já havia feito isso para organizar substâncias orgânicas em séries homólogas em termos de propriedades e origem desses compostos. Mendeleev sabia disso e, inclusive, era um entusiasta das ideias de Gerhardt (Kedrov, 1966). O certo é que, a partir dessa analogia, ele conseguiu pensar nos elementos como pertencentes a uma certa sequência; e essa sequência permitia fazer previsões. Em outras palavras, agora era possível saber se havia elementos faltando no sistema (que poderiam ser elementos ainda não identificados) e qual o local/grupo daqueles que ainda não tinham sido alocados.

Seguindo entusiasmado com a analogia estabelecida, Mendeleev, escreveu em pedaços de papel, como se fossem, literalmente, cartas de um baralho, os elementos, seu peso atômico e suas principais propriedades. Essa dinâmica que, apesar de lúdica, carrega um caráter conceitual importantíssimo, o ajudou a traçar determinadas relações. Desta forma, e naquele momento, as propriedades ficavam visualmente mais acessíveis. Em palavras mendeleevianas: “as propriedades dos elementos permanecem em relação periódica com seus pesos atômicos” (Mendeléeff, 1891). A Lei Periódica estava posta para ele; no período de sua publicação, ela foi exatamente isso, uma relação periódica entre as propriedades dos elementos e seus pesos atômicos, considerada uma lei da natureza. Ao enunciá-la, Mendeleev passou a ter consciência da natureza do sistema que permitia organizar periodicamente os elementos químicos. A descoberta da Lei Periódica perpassa décadas de estudos de diferentes áreas, sendo enunciada por Mendeleev em 1869; ela carrega, como em qualquer descoberta científica, uma estrutura conceitual e epistemológica. Após ter montado seu “jogo de

paciência”, Mendeleev foi anotando seus resultados. Em um primeiro rascunho (Figura 3), já é possível observar sua Tabela Periódica tomando forma.

Figura 3: Rascunho da Tabela Periódica de Mendeleev. Já é possível ver algumas seqüências de elementos formando grupos em sua classificação.



moleculares de Cannizzaro, os estudos de Gerhardt, o envolvimento didático de Mendeleev ao estruturar o livro, sua maneira de encarar os problemas científicos e a própria viagem que precisava fazer. Esse último fator foi importante também, já que ele precisou traçar uma estratégia que fizesse com que ele resolvesse o problema do modo mais rápido possível (Kedrov, 1966). Como explicita Norwood Hanson, a estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta pode trazer informações importantes para o entendimento da própria ciência.

Mendeleev havia se envolvido anteriormente com isomorfismo, propriedades quantitativas e qualitativas dos materiais, relações entre o volume e o peso atômico, relações regulares em óxidos de sal. O primeiro volume do *Principles* teve um papel de extrema relevância na continuidade de seus pensamentos, uma vez que ele já havia agrupado os halogêneos (F = 19; Cl = 35; Br = 80; I = 127) e os alcalinos (Li = 7; Na = 23; K = 39; Rb = 85; Cs = 133). O próprio Congresso de Karlsruhe impactou suas pesquisas naquela década; mesmo tendo se passado quase dez anos entre o evento e sua publicação, foi naquela ocasião que ele entrou em contato com a concepção atômico-molecular de Cannizzaro, que serviu de base estruturante para o *Principles* e para o seu trabalho da Lei e Tabela Periódica.

Em outras palavras, evidencia-se, portanto, a importância de contextualizar a produção de conhecimento científico à luz do arcabouço que lhe é inerente (e certamente isso transcende o aporte estritamente conceitual). Não é incomum encontrar relatos que enaltecem, somente, que Mendeleev agrupou os elementos em ordem de seu peso e “descobriu” a Tabela Periódica; como se apenas descortinasse algo. Esse simplismo exagerado, sem aporte historiográfico e epistemológico, leva a pensar que as ideias surgem do nada, de um dia para o outro. A história, certamente, evidencia um contexto permeado de conhecimentos precedentes, *insights* que possuem uma estrutura conceitual e epistemológica, subjetividades, influências sociais, políticas, econômicas, motivações educacionais, uma humanidade que lhe é inerente.

4.4 “A RELAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS E SEUS PESOS ATÔMICOS”: A TABELA E A LEI PERIÓDICA DE MENDELEEV APRESENTADAS À COMUNIDADE CIENTÍFICA

A Tabela periódica de Mendeleev foi publicada no primeiro volume do periódico da Sociedade Química Russa, em 1869, em trabalho intitulado “A relação entre as propriedades dos elementos e seus pesos atômicos”. A propósito, ele havia sido um dos fundadores da Sociedade (Figura 4).

permita situá-los em um sistema mais ou menos estrito. Somente no que diz respeito a certos grupos de elementos, não há dúvida de que eles formam um todo, representam uma série natural de manifestações semelhantes da matéria (Mendeleev, 1869, p. 64, tradução nossa).

Ao contextualizar e enfatizar o papel das tríades, ele cita Peter Kremers (1827-s/i), Jean Baptiste André Dumas (1800-1884), Max Von Pettenkofer (1818-1901), Dmitri Ivanovich Sokolov (1788-1852), mas não teceu considerações sobre Döbereiner, o primeiro a publicá-las. Mendeleev destacou, principalmente, as debilidades dessa forma de classificar os elementos, “relações desse tipo foram, e ainda são”, diz ele, “apresentadas a nossa mente como alguma informação fragmentária, não levando a um sistema completo de elementos, mas apenas justificando sua distribuição de acordo com grupos naturais” (Mendeleev, 1869, p. 65, tradução nossa). Em síntese, ele argumentou que a organização dos elementos em tríades limitava mais do que auxiliava em termos de classificações. Abarcando o sistema de Ernst Lensen³⁷ (1837-1898), que consistia no arranjo de 20 tríades sem levar em consideração a proximidade de propriedades dos elementos, apenas a relação numérica dos pesos atômicos, como um caso exemplo, ele enfatizou:

[...] em seu sistema [referindo-se a Lensen] há uma tendência a subordinar o agrupamento natural dos elementos à triplicidade, o que dificilmente concorda com a naturalidade e com o fato de não termos confiança na completude das séries de corpos simples que conhecemos. Para elementos recém-descobertos em seu sistema, se houver um lugar, ele está associado à desordem do grupo, que é considerado fechado e completo (Mendeleev, 1869, p. 65, tradução nossa).

Mendeleev divulgou nesse trabalho seminal o seu manual científico *Principles of Chemistry*. Diferentemente de escritos que enaltecem apenas um produto da ciência, uma mera reconstrução do conhecimento, ele ressaltou aspectos subjetivos e inerentemente humanos que vivenciou durante a elaboração do manual. Inicialmente, enfatiza ele, precisou controlar-se para não distribuir os elementos em grupos a partir de princípios que considerava incertos. Relatando uma certa briga interna, uma crise própria, entre seus “impulsos aleatórios, por assim dizer, instintivos” e a necessidade de buscar “por algum tipo de começo definido e preciso” (Mendeleev, 1869, p. 66, tradução nossa), explicita concepções psicológicas, subjetivas entrelaçadas com àquelas conceituais.

Retomando a discussão entre a medida dos pesos, fazendo menção à querela entre peso atômico e peso equivalente, ele enfatizou a importância de dados numéricos precisos à luz de parâmetros claros utilizados para a sua classificação. Outrossim, essa era uma

³⁷A grafia de nascimento de seu nome é Ernst Lenßen, mas é amplamente conhecido como Lensen.

preocupação bastante presente na química naquele momento; inclusive, uma das motivações do próprio Congresso de Karlsruhe era justamente a busca, mesmo que a longo prazo, pelo estabelecimento de parâmetros que auxiliassem na padronização das pesquisas, visando resultados cada vez mais sólidos.

Por muito tempo, Mendeleev se mostrou ambivalente, nesse sentido, utilizando tanto uma perspectiva quanto a outra, como já supracitado. Mas, aqui, vê-se o início de sua defesa pela utilização do peso atômico como parâmetro de classificação dos elementos, por serem uma propriedade inerente aos corpos simples, como chama.

O peso atômico não pertence ao carvão e ao diamante, mas ao carbono. A maneira como Gerhardt e Cannizzaro determinaram os pesos atômicos dos elementos se baseia em preceitos tão inabaláveis e indubitáveis que, para a maioria dos corpos, e especialmente para aqueles corpos simples cuja capacidade térmica no estado livre já foi determinada, não há dúvida sobre o peso atômico do elemento, como havia há alguns anos, quando o peso atômico era tantas vezes misturado com um equivalente e determinado com base em princípios heterogêneos, muitas vezes opostos. É por essa razão que tentei basear o sistema na magnitude do peso atômico dos elementos (Mendeleev, 1869, p. 67, tradução nossa).

Mendeleev apresentou progressivamente seis grupos que conseguiu montar a partir da organização ordenada dos pesos atômicos junto a sua inter-relação com suas propriedades físico-químicas. Ao evidenciar essa correlação, ele afirmou que é o peso atômico que deveria determinar a natureza do elemento. Reside aqui um aspecto fundamental relativo à essência dos corpos simples; a questão de o que faz de um elemento ser o que ele é.

Importa destacar que em uma longa nota de rodapé no segundo volume de seu *Principles of chemistry*, Mendeleev enfatizou como são fundamentais as propriedades periódicas dos fenômenos da natureza, como o dia e a noite, as estações do ano e as ondas. Ressaltou que esses fenômenos crescem até certo ápice e depois decrescem, voltando em seguida a aumentar sua propriedade periódica, variando-a no espaço-tempo, mostrando, analogamente, que isso ocorre também com os pesos atômicos dos elementos, só que de forma mais abrupta. Em relação à Lei Periódica e sua relação com os pesos atômicos, ele faz uma observação sublime:

Explicar e expressar a lei periódica é explicar e expressar a causa da lei das proporções múltiplas, da diferença dos elementos, e da variação da sua atomicidade, e ao mesmo tempo compreender o que são massa e gravitação. Na minha opinião, isso é agora prematuro. Mas assim como sem conhecer a causa da gravitação é possível fazer uso da lei da gravidade, também para os fins da química é possível aproveitar as leis descobertas pela química sem ser capaz de explicar as suas causas. A peculiaridade acima mencionada das leis da química a respeito dos compostos

definidos e dos pesos atômicos leva-nos a pensar que ainda não chegou o momento de sua explicação completa, e não creio que isso venha antes da explicação de tais leis primárias da natureza como a lei da gravidade [...]. Mas, antes, a variabilidade periódica dos elementos e compostos está sujeita a alguma lei superior cuja natureza, e ainda mais cuja causa, não pode atualmente ser determinada. Essa lei se baseia provavelmente nos princípios fundamentais da mecânica interna dos átomos e das moléculas [...] (Mendeléeff, 1891, p. 21, v. 2, tradução nossa).

Retomando ao seminal trabalho publicado em 1869, Mendeleev apresentou, finalmente, sua Tabela Periódica (Figura 5). A partir dela, continuou comentando suas conclusões envolvendo a correlação entre os pesos atômicos e as propriedades dos elementos, salientando suas fragilidades, como os intervalos inexplicados de peso atômico que apareciam em algumas séries e a dificuldade que teve em alocar elementos que tinham sido pouco estudados. Nesse sentido, ele cita especificamente três elementos — ítrio (Yt)³⁸, tório (Th) e índio (In) — que não acompanhavam a ordenação crescente dos pesos atômicos.

Figura 5: Primeira Tabela Periódica publicada por Mendeleev.

			Ti=50	Zr=90	?=180.
			V=51	Nb=94	Ta=182.
			Cr=52	Mo=96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
		Ni=Co=59		Pt=106,6	Os=199.
H=1		Cu=63,4		Ag=108	Hg=200.
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

Fonte: Mendeleev, 1869.

Embora alguns trabalhos na literatura enfatizem que Mendeleev deixou de fora da Lei Periódica alguns elementos já conhecidos à época (Kedrov, 1966; Gordin, 2019), isso não quer dizer que eles não faziam parte de sua Tabela. Esses elementos também estavam lá, mas

³⁸Na Tabela Periódica atual, o ítrio recebe o símbolo Y e não mais Yt, como na Tabela de Mendeleev.

não seguiam a ordem de pesos atômicos; todos os elementos conhecidos no período — 65 no total — aparecem na Tabela Periódica publicada em 1869 (Thyssen; Binnemans, 2011).

Além do ítrio (Yt), tório (Th) e índio (In), também se pode visualizar o érbio (Er), o ouro (Au) e o bismuto (Bi), além do telúrio (Te) e do iodo (I), fora do ordenamento dos pesos atômicos. Thyssen e Binnemans (2011) salientam que para que a Tabela pudesse seguir a ordem crescente dos pesos atômicos sete elementos deveriam ser tirados dela: ítrio (Yt), índio (In), cério (Ce), lantânio (La), didímio (Di) — uma mistura de praseodímio (Pr) e neodímio (Nd) que se acreditava ser um corpo simples —, érbio (Er) e tório (Th). Mendeleev, contudo, preferiu deixar esses elementos na Tabela e esclareceu que eles seriam foco de sua atenção em pesquisas subseqüentes (Mendeleev, 1869).

A Tabela Periódica mendeleeviana apresentava espaços vazios para elementos ainda não descobertos; e isso chamou a atenção da comunidade científica naquele período. O certo é que, rigorosamente, esses espaços não estavam de fato vazios; eles são preenchidos com um ponto de interrogação e com o peso que esse elemento deveria possuir, como se observa na figura 5. A identificação de três desses elementos, alguns anos após a publicação da sistematização, foi de grande importância para a sua aceitação em diferentes países da Europa; confirmando não apenas o peso atômico que Mendeleev havia predito, mas também as características que teriam.

É possível destacar, nesse caso, a importância de valores como a abrangência e a previsão ou fecundidade na produção de conhecimentos, e conseqüentemente sua aceitação. Mendeleev conseguiu abranger todos os elementos em sua Tabela; mesmo aqueles que ficaram de fora da ordem dos pesos atômicos. “A fecundidade está associada à competência em encontrar novos achados de pesquisa, propiciar novos fenômenos, permitir que a relação de fenômenos antes ignorados seja clarificada ou compreendida” (Raicik; Angotti, 2019, p. 339). Como explicita Kuhn (2011), a fecundidade é um dos valores primordiais para as decisões científicas. “Já a abrangência de uma teoria está relacionada à sua capacidade de extrapolar as observações, leis e subteorias particulares pelas quais foi formulada” (Raicik; Angotti, 2019, p. 339). Diferentemente de outras sistematizações que deixavam, literalmente, espaços em branco nas tabelas, Mendeleev os ocupou com possíveis pesos e, a partir do grupo a que faziam parte, adiantou quais seriam algumas das características desses elementos. As confirmações dessas previsões, posteriormente, deram ainda mais crédito a suas pesquisas.

Os elementos *eka-aluminum*, *eka-borum* e *eka-silicon*, assim chamados por Mendeleev, são exemplos disso. O prefixo *eka* estava ali para indicar que esses elementos

antecediam ou sucediam aqueles que acompanham o prefixo. A adição desses elementos ainda não conhecidos em sua Tabela promovia uma harmonia na ordenação crescente dos pesos atômicos e na organização dos outros elementos em grupos a que de fato faziam parte. Nas duas décadas seguintes, eles foram identificados: o eka-aluminum foi obtido em 1875 por Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912) e passou a ser conhecido como Gálio; o eka-borium foi estudado por Lars-Frederik Nilson (1840-1899) em 1879 e hoje é nomeado Escândio; o eka-silicon foi obtido em 1886 pelo químico Clemens Alexander Winkler (1838-1904) e recebeu a alcunha de Germânio (Brito; Rodriguez, Niaz, 2005). Inclusive, no prefácio da quinta edição do *Principles*, Mendeleev faz um agradecimento a diversos químicos que auxiliaram no estabelecimento da Lei Periódica.

No entanto, essa lei não estaria tão firmemente estabelecida como agora, quando tantas de suas conseqüências foram verificadas pelas pesquisas de numerosos químicos, e especialmente por Roscoe, Lecoq de Boisbaudran, Nilson, Brauner, Thorpe, C'arnelley, Laurie, Winkler e outros (Mendeléeff, 1891, p. xi, tradução nossa).

As palavras explícitas de Mendeleev, junto a contextualização histórica de sua Tabela, evidenciam a relevância que ele dava à coletividade na ciência. Um determinado conhecimento científico demanda ser socializado entre a comunidade científica. “A sua publicidade e avaliação pela comunidade é o que, via de regra, confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento da ciência” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 33). A ciência que prospera não é uma ciência solitária.

Na parte final de seu memorável artigo, Mendeleev elenca alguns pontos que, segundo ele, sintetizam seu trabalho. Um deles é a enunciação da própria Lei Periódica, assim descrita: “os elementos dispostos de acordo com seu peso atômico representam uma clara periodicidade de propriedades” (Mendeleev, 1869, p. 76, tradução nossa). Posteriormente, enfatiza o fato de elementos que faziam parte de uma mesma função química³⁹ possuírem pesos atômicos muito próximos ou uniformemente crescentes. Ele diz que isso não foi notado em estudos anteriores, possivelmente, porque eles “não usaram as conclusões de Gerhardt, Regnault, Cannizzaro e outros, que estabeleceram o verdadeiro valor da variedade atômica de elementos em suas comparações” (p. 76, tradução nossa). Outra vez, vê-se o valor que Mendeleev dá a outros conhecimentos para o desenvolvimento de seu próprio.

³⁹Aqui, especificamente, Mendeleev estava se referindo aos elementos que hoje são conhecidos como elementos de transição.

Em síntese, Mendeleev: i) novamente afirma que o peso atômico determina a natureza do elemento; ii) destaca mais uma vez as futuras descobertas de novos elementos; iii) enfatiza sobre as mudanças de peso atômico de alguns elementos, a que ele chamou de correções, como a troca do peso atômico do Telúrio pelo Iodo. Além disso, no último parágrafo de seu artigo seminal, ele volta a salientar que esse é um estudo inacabado, que continuará pesquisando alguns dos temas ali apresentados e que o seu principal objetivo era chamar a atenção para as proporções na magnitude dos pesos atômicos.

O artigo foi lido pela primeira vez na Sociedade Química Russa em 6 de março de 1869, pelo químico russo Nikolai Menshutkin (1842-1907), antes de ser oficialmente publicado naquele mesmo ano no primeiro volume da Revista da Sociedade, como supracitado. Infelizmente, Mendeleev não pôde fazer, ele próprio, essa apresentação por ainda estar envolvido com a sua viagem em Tver.

Apesar da abrangência e das previsões que fez com a Lei e a Tabela Periódica em si, Mendeleev precisou muitas vezes tomar partido em defesa de sua validade, a fim de que elas fossem compreendidas e aceitas. Afinal, os processos que levam à aceitação de um novo conhecimento são multifacetados, estendendo-se no espaço e no tempo, envolvendo situações que requerem diferentes estratégias de validação. A ambivalência de Mendeleev⁴⁰, mais uma vez, vem à tona e se torna forte, quando, posteriormente, enfrenta fortes oposições do químico Marcellin Berthelot (1827-1907), um anti-atomista ferrenho, que teceu críticas à Lei Periódica, por justamente estar baseada em uma teoria atômico-molecular (Niaz, Rodríguez e Brito, 2004).

Na ocasião de sua fala na Faraday Lecture, cerimônia que marca o recebimento do Faraday Lectureship Prize⁴¹ em 1889, por exemplo, Mendeleev enfatiza que a lei periódica culminou de uma “base sólida e saudável de pesquisa experimental” e que “tem evoluído independentemente de qualquer concepção quanto à natureza dos elementos” (Mendeléeff, 1889, p. 644). Além de suas próprias incertezas, isto é, sua ambivalência ainda latente, outro fator que incitou esse seu comportamento de Mendeleev pode ter sido o contexto filosófico em que estava imerso à época: o positivismo foi uma filosofia dominante, tendo muitos estudiosos como adeptos. Isso fez com que muitas práticas científicas fossem fortemente influenciadas e moldadas a partir dessa corrente filosófica (Gordin, 2019).

⁴⁰Importa ressaltar que essa ambivalência não era exclusiva de Mendeleev. O contexto histórico em que se encontravam os estudiosos da época era favorável a esse caminhar entre diferentes perspectivas. Bem como, a teoria atômica era bastante utilizada de forma instrumental, visando os resultados que se obtinham com ela e não necessariamente sua realidade física.

⁴¹Prêmio concedido a contribuições notáveis à química ou à física.

De todo modo, essa ambivalência permitiu a Mendeleev comunicar-se com dois públicos, aqueles que eram adeptos da teoria atômica e aqueles que, seguindo os preceitos do positivismo, não aceitavam tal teoria, e primavam quase que exclusivamente pelos dados experimentais. Nos trabalhos de Mendeleev fica bastante evidente que tanto a teoria atômico-molecular quanto o conhecimento empírico obtido ao longo de anos de trabalho de diversos químicos fizeram parte do repertório do químico russo, quer Mendeleev acreditasse ou não na realidade física dessa teoria (Niaz, Rodríguez, Brito, 2004).

Como a história não é linear, mas rodeada de querelas, seguindo por caminhos sinuosos, faz-se necessário contextualizar, ainda que muito brevemente, outro marco relevante pós publicação da tabela mendeleeviana: a disputa que Mendeleev estabelece com Meyer pela prioridade da descoberta da Lei Periódica.

4.5 UMA BREVE MENÇÃO À DISPUTA DE PRIORIDADE ENTRE MENDELEEV, MEYER E A PERIODICIDADE QUÍMICA

Até 1869 nenhuma das sistematizações que buscavam uma classificação para os elementos químicos, como aquelas já mencionadas (embora não aqui contextualizadas) de Johann W. Döbereiner, Alexandre É. B. de Chancourtois, John A. R. Newlands e a primeira feita, de Julius Lothar Meyer, vinculavam a periodicidade dos elementos em função de seu peso atômico. É possível observar algumas antecipações ao sistema mendeleeviano no que se refere à forma e à distribuição de alguns grupos de elementos. Do ponto de vista teórico, levando em consideração a estrutura conceitual e epistemológica de sua Lei, e a sua Tabela, Mendeleev foi, contudo, singular. (Van Spronsen, 1969; Maar, 2011; Scerri, 2015).

Não obstante, houve uma relevante disputa pela prioridade da descoberta da Lei Periódica, travada entre Mendeleev e Julius Lothar Meyer (1830-1895) (Scerri, 2015; Boeck, 2019; 2021)⁴². Meyer foi um químico alemão que dedicou parte de sua carreira à classificação dos elementos químicos. Sua história se cruzou com a de Mendeleev em diversos aspectos, como a passagem pelos laboratórios de Kirchhoff e von Bunsen para um período de orientação em pesquisas; a participação no Congresso de Karlsruhe, no qual ambos entraram em contato com a concepção atômico-molecular de Cannizzaro e se tornaram adeptos, passando a utilizá-la em suas pesquisas (apesar da ambivalência mendeleeviana). Ademais,

⁴² Apesar de algumas considerações de que De Chancourtois ou Newland pudessem ter sido os descobridores da Lei Periódica, essas discussões não afloraram o suficiente para serem consideradas uma querela no nível daquela que Mendeleev trava com Meyer.

ambos redigiram manuais científicos de química para o ensino superior em que buscavam um princípio de ordenação dos elementos químicos, primeiro para apresentar em seus livros e, depois, como estudo das classificações químicas em geral (Kedrov, 1966; Maar, 2011; Boeck, 2021).

Meyer havia publicado uma primeira sistematização em 1864, em seu manual científico “As teorias modernas da química”, enquanto era professor da Universidade de Breslau, na qual ele adicionou 50 elementos (dos 65 conhecidos), sendo que apenas 28 elementos apresentavam uma variação regular em sua valência (Lorenzetti; Raicik, Peduzzi, 2024). Enquanto escrevia a segunda edição de seu manual científico, e após quatro anos de continuação aos seus estudos, em 1868, na Universidade de Neustadt-Eberswalde Forest, desenvolveu um rascunho de uma nova classificação; incluindo 52 elementos, com muitas semelhanças em relação às combinações alcançadas por Mendeleev no ano seguinte. Entretanto, nesse mesmo ano, Meyer mudou-se de Universidade, e passou a lecionar no Instituto Politécnico de Karlsruhe. No decorrer dessa mudança, ele acabou não levando consigo alguns de seus papéis; dentre eles o rascunho de uma outra classificação, demasiadamente mais completa que as anteriores (Boeck, 2021).

Apesar disso, em 1870, ele publicou uma nova Tabela (Figura 6), explicitando a periodicidade das propriedades dos elementos químicos em função de seu peso atômico. Ademais, em vez de utilizar a valência como parâmetro para mostrar uma variação constante entre os elementos, utilizou o próprio peso atômico (Boeck, 2019). A partir das conclusões sobre a periodicidade dos elementos, Meyer desenvolveu uma importante relação entre o raio atômico (que ele mesmo calculou) e o peso atômico dos elementos. Assim como Mendeleev, Meyer deixou espaços em branco em sua Tabela; contudo, não sinalizou que seriam para elementos ainda não identificados.

Figura 6: Tabela Periódica de Meyer publicada em 1870

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	B = 11,0	Al = 27,3	—	—	—	? In = 113,4	—	Tl = 202,7
	C = 11,97	Si = 28	—	—	—	Su = 117,8	—	Pb = 206,4
	N = 14,01	P = 30,9	Ti = 48	As = 74,9	Zr = 89,7	Sb = 122,1	—	Bi = 207,5
	O = 15,96	S = 31,98	V = 51,2	Se = 78	Nb = 93,7	Te = 128 ?	Ta = 182,2	—
	F = 19,1	Cl = 35,38	Cr = 52,4	Br = 79,75	Mo = 95,6	J = 126,5	W = 183,5	—
			Mn = 54,8		Ru = 103,5		Os = 198,6 ?	—
			Fe = 55,9		Rh = 104,1		Ir = 196,7	—
			Co = Ni = 58,6	Rb = 85,2	Pd = 106,2		Pt = 196,7	—
Li = 7,01	Na = 22,99	K = 39,04	Cu = 63,3		Ag = 107,66	Cs = 132,7	Au = 196,2	—
? Be = 9,3	Mg = 23,9	Ca = 39,9	Sr = 87,0		Ba = 136,8		Hg = 199,8	—
			Zn = 64,9		Cd = 111,6			—

Differenz von I zu II und von II zu III ungefähr = 16.
 Differenz von III zu V, IV zu VI, V zu VII schwankend um 46.
 Differenz von VI zu VIII, von VII zu IX = 88 bis 92.

Fonte: Boeck, 2019.

Acontece que seu sistema, agora, torna-se muito semelhante ao de Mendeleev. Discussões entre químicos, principalmente através de comentários em artigos publicados que mencionavam a prioridade da descoberta, foram se estabelecendo na comunidade científica (Scerri, 2015; Boeck, 2019).

Em algumas controvérsias, sobretudo aquelas que se referem a primazia da descoberta, “valores de prioridade, honestidade, originalidade, prestígio” podem tomar conta da querela (Raicik; Peduzzi; Angotti, 2018). Os argumentos e contra-argumentos, nesse caso, tornam relevante o embate. Mendeleev, por exemplo, reivindicando sua prioridade à descoberta, passou a defender que ela havia sido publicada um ano antes da de Meyer. Além disso, enalteceu que, diferentemente da de seu opositor, que possuía apenas 55 elementos, a sua Tabela apresentava 65 elementos e possuía espaços deixados em branco para elementos ainda não descobertos, inclusive predizendo algumas de suas propriedades químicas, enquanto os espaços deixados por Meyer não haviam sido explicados.

Mendeleev chegou a escrever, em uma das edições de seu *Principles*, em 1891, que:

Nem De Chancourtois, a quem os franceses atribuem a prioridade da descoberta da lei periódica, nem Newlands, citado pelos ingleses, ou L. Meyer, considerado pelos alemães o fundador da lei periódica, ousaram predizer as propriedades dos corpos ainda não descobertos; ou procuraram modificar os pesos atômicos adotados e também consideraram a lei periódica como uma nova lei da matéria, apoiada em bases sólidas e podendo conter fatos ainda não generalizados, como eu fiz desde o início (1869) (Mendeléeff, 1891, p. 25, v. 2, tradução nossa).

Com efeito, como ressalta McMullin (2003), normalmente as querelas na ciência são resolvidas, ainda que se leve um tempo considerável para isso. “De acordo com o filósofo, o papel da comunidade científica é um dos elementos mais relevantes em uma controvérsia, não sendo, no entanto, infalível” (Raicik; Angotti, 2019, p. 343). Nesse caso, isso pode ser atestado quando ambos receberam a medalha Davy entregue pela Royal Society pelas suas contribuições à classificação periódica dos elementos químicos, em 1882.

De qualquer forma, os dois fizeram importantes contribuições para a ciência, publicaram tabelas, disseminaram a perspectiva atômico-molecular de Cannizzaro, escreveram manuais de química e pensaram sobre a educação científica de seus países. Nas décadas seguintes, com base em suas sistematizações, continuaram estudando as relações entre os pesos atômicos e as propriedades físico-químicas dos elementos, buscando novas formas de aprimorar o sistema periódico. A título de implicação, 2019 foi declarado pela ONU o Ano Internacional da Tabela Periódica; na imagem de divulgação desse marco, apenas Mendeleev aparece e o ano foi escolhido pelo sesquicentenário da publicação de sua Tabela. Em diversos trabalhos publicados em virtude dessa nomeação, foi questionada a escolha de homenagear apenas Mendeleev nas comemorações da Tabela Periódica (Boeck, 2021; Mainz, 2021) e não também, por exemplo, outros estudiosos como Meyer.

Por certo, embora não seja objeto de análise neste artigo em particular, devido ao recorte aqui estabelecido, essa querela e as distintas nuances a ela associada demandariam uma análise pormenorizada. Meyer foi injustiçado? Teria ele, de algum modo, plagiado Mendeleev? Seria a Lei Periódica um caso de descoberta simultânea? Que valores, epistêmicos ou não, estavam envolvidos nesse embate? Disputas por prioridades são comuns na ciência, mas precisam ser devidamente ponderadas, histórica, epistemológica e socialmente.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de ciências e os materiais em geral, livros didáticos ou paradidáticos, costumam apresentar e disseminar a Tabela Periódica dos elementos químicos com escassas discussões contextuais, históricas e epistemológicas. Ela costuma ser apresentada como um constructo acabado, um mero produto da ciência, sem importantes incursões históricas, filosóficas e sociais que são inerentes à sua gênese, ao seu desenvolvimento e aceitação. Encontrando-se, geralmente, fixada nas paredes de laboratórios, em anexos de livros didáticos

para ocasionais consultas ou em materiais de divulgação científica, sua história é, na maioria das vezes, tratada com um simplismo exagerado e grosseiro; quando não, reduzida a um mero e desprovido “sonho” do químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907) (Brito; Rodriguez; Niaz, 2005; Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022; Pinto, 2011; Holzle, 2019; Lorch, 2019; Eler, 2019; Fabro 2020). A falta de uma contextualização acerca de seu processo de construção acaba perpetuando a equivocada ideia de que a sua própria estrutura é muito menos abrangente e fértil do que por certo é, além de minimizar a sua complexidade histórica.

Um resgate histórico e epistemológico da Tabela Periódica de Mendeleev — em particular — publicada em 1869, alguns dos estudos desse químico russo, os seus esforços científicos e didáticos, suas ambivalências teóricas, algumas das influências que sofreu e exerceu no meio acadêmico e social, os contatos estabelecidos com outros estudiosos, partes de sua vida pública e tantas outras nuances de sua trajetória que, direta ou indiretamente, influenciaram na construção de sua Tabela, podem evidenciar uma história diferente.

O período compreendido entre 1860-1870 traz importantes elementos relativos à figura de Mendeleev e algumas de suas significativas contribuições à ciência; a finalização de seu doutorado e seu ingresso como docente na Universidade de São Petersburgo; a organização didática dos elementos químicos nos manuais científicos que redigiu; a publicação de seu artigo em que apresenta a Lei Periódica e a sua Tabela etc. (Kedrov, 1966; 2007; Rawson, 1974; Scerri, 2015; Gordin, 2019). A participação de Mendeleev, ainda estudante, nessa mesma década, no reconhecido Congresso de Karlsruhe, é outro exemplo disso.

Considerado o primeiro Congresso Internacional no qual estudiosos, em sua maioria químicos, reuniram-se para discutir questões relacionadas à padronização de nomenclaturas e conceitos, principalmente no que se refere aos elementos químicos e seus procedimentos de pesagem, ele é um marco nas pesquisas envolvidas em distintas sistematizações que já vinham sendo elaboradas desde o início do século XIX e de outras que, particularmente pós-evento, se consolidaram na comunidade, como a mendeleeviana (Targino; Baldinato, 2016).

Com efeito, a história da ciência, quando pensada além de seus produtos, expõe uma ciência engajada culturalmente, influenciando e influenciada pelos meios que a cercam. Como já bem enfatizava Kuhn (2018), “se a história fosse vista como um repositório para algo mais do que anedotas ou cronologias, poderia produzir uma transformação decisiva na imagem da ciência que atualmente nos domina” (p. 59).

Foi a partir dos conhecimentos que Mendeleev já havia construído sobre as propriedades químicas dos elementos, somada à escrita do livro e junto a uma analogia com o jogo de cartas paciência (Kredrov, 2007), que ele distribuiu elementos que possuíam características semelhantes sobre uma mesa e conseguiu observar não apenas uma estrutura de sistematização qualitativa, mas também uma lei quantitativa para a periodicidade das propriedades dos elementos químicos (Bachelard, 2009). E não somente isso, observou essa periodicidade como uma função dos pesos atômicos desses elementos.

Salienta-se que o contexto científico da época, bem como os conhecimentos que Mendeleev já havia construído sobre elementos químicos e suas propriedades, influenciaram esse seu *observar*. Não foi um observar neutro, de quem, sem intenção, viu que agrupados a partir do peso atômico os elementos poderiam ser classificados, organizados, sistematizados. Foi, literalmente, uma construção de conhecimentos à luz, certamente, de muitos pressupostos teóricos. A narrativa de um mero sonho, desprovido de uma contextualização histórica, epistemológica e social, não pode ser sustentada, como se procurou mostrar neste trabalho. Diversos estudiosos olharam para o peso e as propriedades químicas dos elementos, mas nenhum viu o que Mendeleev observou em sua mesa.

É preciso dar atenção para aspectos que criam essa possibilidade de existência de construção dos conhecimentos. Vale destacar também que Mendeleev recebeu um incentivo financeiro de seu país para a escrita dos livros (Kedrov, 2007). As pesquisas e as políticas públicas ou privadas que dão condições aos pesquisadores para que possam desenvolver seus trabalhos são indissociáveis da história do empreendimento científico. Financiar ou não uma pesquisa é também uma forma de validar ou não o que quer que se construa com a ciência.

Por fim, salienta-se que as discussões em torno da descoberta da Lei Periódica, feitas preliminarmente neste trabalho, podem ser aprofundadas. Pensar, por exemplo, o que configura a Mendeleev o título de descobridor da Lei Periódica? O que significa descobrir algo? Existe apenas um tipo de descoberta? Essas são perguntas que permitem reflexões relevantes *sobre* a ciência, com implicações a um ensino de ciência que necessita ser cada vez mais crítico e contextual.

REFERÊNCIAS

BACHELARD, G. **Pluralismo coerente da química moderna**. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

BAYLOR, G. W. What do we really know about Mendeleev's dream of the Periodic Table? A note on dreams of scientific problems solving. **Dreaming**, v. 11, n. 2, p. 89-92, 2001.

BOECK, G. Julius Lothar (von) Meyer (1830-1895) and the Periodic System. **Substantia**, v. 3, n. 2, suppl. 4, 13-25, 2019.

BOECK, G. The Periodic Table of the Elements and Lothar Meyer. *In: 150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium*. Springer International Publishing, p. 195-214, 2021.

BRITO, A.; RODRÍGUEZ, M. A.; NIAZ, M. A reconstruction of development of the Periodic Table based on History and Philosophy of Science and its implications for General Chemistry Textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 1, p. 84-111, 2005.

ELER, G. Faxina em universidade encontra tabela periódica mais antiga do mundo. **Super Interessante**, 2019. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/faxina-em-universidade-encontra-tabela-periodica-mais-antiga-do-mundo/>. Acesso em 13 set 2021.

FABRO, N. Tabela Periódica: conheça a história e o futuro incerto do sistema. **Revista Galileu**, 2020. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2020/03/tabela-periodica-conheca-historia-e-o-futuro-incerto-do-sistema.html>. Acesso em 13 set 2021.

GORDIN, M. **A Well-ordered thing: Dmitrii Mendeleev and the shadow of the Periodic Table**. New Jersey: Princeton University Press, 2019.

HOLZLE, L. R. B. A Guerra Fria na Tabela Periódica. **Ciência Hoje**, 2019. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/a-guerra-fria-na-tabela-periodica/>. Acesso em: 13 set 2021.

KEDROV, B. M. On the Question of the Psychology of Scientific Creativity. **Soviet Psychology**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 18–37, 1966.

KEDROV, B. M. Mendeleev, Dmitri. *In: GILLISPIE, C. C. (Org.) Dicionário de Biografias Científicas*. Rio de Janeiro: Contraponto, p.1901-1910, 2007.

KRAGH, H. **Introdução à Historiografia da Ciência**. Porto: Porto, 2001.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

LORCH, M. Tabela Periódica completa 150 anos: conheça sua história. **Revista Galileu**, 2019. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2019/01/tabela-periodica-completa-150-anos-conheca-sua-historia.html>. Acesso em 13 set 2021.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; DAMASIO, F. “O sonho de Mendeleiev” e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 209-236, 2022. DOI doi.org/10.5007/1982-5153.2022.e84228.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, v. 25, e46058, 2023. DOI doi.org/10.1590/1983-21172022240157.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas, no prelo, 2024.

MAAR, J. H. **História da Química: De Lavoisier ao Sistema Periódico (Segunda Parte)**. Florianópolis: Editora Papa-Livro, 2011.

MAINZ, V. V. Mendeleev and the chemistry textbook in Russia. *In: Preceptors in Chemistry*. American Chemical Society, p. 163-208, 2018.

MAINZ, V. V. Translation of §§ 91–94 of Lothar Meyer's *Modernen Theorien* (1864). *In: 150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium*. Springer International Publishing, p. 215-224, 2021.

McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. *In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. (org.) Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology*. New York: Cambridge University Press, p. 49-92, 2003.

MEHLECKE, C. M.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 521-545, 2011.

MENDELÉEFF, D. **The Principles of Chemistry**. Londres; Nova Iorque: Longmans, Green, and Co., 1891.

MENDELEEV, D. The relation between the properties and atomic weights of the elements. **Journal of the Russian Chemical Society**, v. 1, 1869⁴³.

MUCT – Mendeleev University of Chemical Technology. **Biography of D.I. Mendeleev**. s/d. Disponível em: <https://www.muctr.ru/university/about/history/mendeleev/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

NAZ, M.; RODRÍGUEZ, M. A.; BRITO, A. An appraisal of Mendeleev's contribution to the development of the periodic table. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 35, n. 2, p. 271-282, 2004.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020. DOI doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em ensino de Ciências**, v. 13, n. 1, p. 42-62, 2018.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. **Shocking Frogs: Galvani, Volta, and the Electric Origins of Neuroscience**. New York: Oxford Press, 2013.

⁴³Менделѣева, Д. Соотношеніе свойствѣ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ. **ЖУРНАЛЫ РУССКАГО ХИМИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА**, томъ. I, 1869.

PINTO, G. A. **Divulgação científica como literatura e o ensino de ciências**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

RAICIK, A. C. Algumas interações pessoais de Niels Bohr com JJ Thomson e Ernest Rutherford no período de seu pós-doutorado: para uma visão mais humana da ciência. **A Física na Escola**, v. 21, p. 220907-1-220907-14, 2023. DOI doi.org/10.59727/fne.v21i1.54.

RAICIK, A. C.; ANGOTTI, J. A. P. A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 331-349, 2019.

RAWSON, D. C. The process of discovery: Mendeleev and the periodic law. **Annals of Science**, v. 31, n. 3, 1974.

ROBINSON, A. E. Chemical pedagogy and the periodic system. **Centaurus**, v. 61, n. 4, 2019.

SCERRI, Eric. **The periodic table: its story and its significance**. Oxford University Press, 2007.

SCERRI, E. The discovery of the periodic table as a case of simultaneous discovery. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 373, n. 2037, p. 20140172, 2015.

SCERRI, E. R. **The periodic table: A very short introduction**. OUP Oxford, 2 ed., 2019.

SIMON, J. The Franco-British Communication and Appropriation of Ganot's Physique (1851-1881). *In*: SIMON, J. et al. (ed.). **Beyond Borders: Fresh Perspectives in History of Science**. Cambridge Scholars Publishing, 2008.

SQR – Sociedade Química Russa. **Da história da Sociedade**. s/d. Disponível em: <https://www.chemsoc.ru/index.php/homepage/history>. Acesso em: 31 jan. 2023.

TARGINO, A. R. L.; BALDINATO, J. O. Abordagem histórica da lei periódica nas coleções do PNLD 2012. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p. 324-333, 2016.

THYSSEN, P.; BINNEMANS, K. Accommodation of the rare earths in the periodic table: A historical analysis. *In*: **Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths**. Elsevier, p. 1-93, 2011.

Van SPRONSEN, J. W. **The periodic system of chemical elements: a history of the first hundred years**. Amsterdam: Elsevier, 1969.

WHITAKER, M. A. B. History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II. **Physics Education**, v. 14, 1979.

5 LEI PERIÓDICA, ELEMENTOS QUÍMICOS E DESCOBERTAS CIENTÍFICAS: PONDERAÇÕES A PARTIR DE NORWOOD HANSON E THOMAS KUHN⁴⁴

Resumo: A temática em torno de descobertas científicas é bastante negligenciada no âmbito *de e sobre* ciências, principalmente no que concerne em compreendê-la histórica e epistemologicamente. Inclusive, muitas vezes, descobertas são tratadas como uma simples informação de datas, locais e pessoas. Este trabalho apresenta algumas discussões centradas em episódios históricos ligados a elementos químicos e à Lei periódica, a partir de ponderações de Thomas Kuhn e Norwood Hanson, visando evidenciar e contextualizar a estrutura conceitual e epistemológica de certas descobertas científicas. Dessa forma, resgata-se questões acerca da inseparabilidade dos contextos da descoberta e da justificativa, as complexas estruturas intrínsecas à gênese do conhecimento científico e distintos tipos e categorias de descobertas na ciência.

Palavras-chave: Descoberta científica; História e Filosofia da Ciência; Elemento químico.

5.1 INTRODUÇÃO

“Como se dão os processos de descobertas científicas?” essa é uma das tantas perguntas complexas que a ciência carrega; que pode ser refletida e ponderada por diferentes perspectivas. A palavra descoberta não é de uso exclusivo de cientistas, historiadores e filósofos da ciência. Seu uso corriqueiro e descuidado, em geral, em livros didáticos, manuais científicos, materiais paradidáticos e de divulgação científica, conduzem a uma concepção inadequada acerca do desenvolvimento científico e, conseqüentemente, levam a uma distorção da própria natureza da ciência (Gil Perez *et al.*, 2001; Forato; Pietrocola; Martins, 2011; Kuhn, 2018; Raicik; Peduzzi, 2016).

No ensino e na socialização da ciência, é comum que se encontre episódios históricos sendo sintetizados, de forma descontextualizada, a partir da narrativa de “grandes descobertas”; sem que se pondere, conceitual e epistemologicamente, o que vem a ser, e o que carrega, o termo em si. É possível citar casos clássicos como a “descoberta da gravitação universal” por Isaac Newton (1643-1727), a partir da suposta queda de uma maçã em sua

⁴⁴ Artigo publicado na revista *Ensaio: pesquisa em educação em ciências* (<https://doi.org/10.1590/1983-21172022240157>) e traduzido e publicado integralmente na *Foundations of Chemistry Philosophical, Historical, Educational and Interdisciplinary Studies of Chemistry* (<https://doi.org/10.1007/s10698-024-09512-2>) a convite do editor.

cabeça, ou a “descoberta da independência da massa dos corpos”, creditada a Galileu Galilei (1564-1672), que teria chegado a isso soltando objetos da Torre de Pisa (Martins, 2006; Silveira; Peduzzi, 2006).

Outros exemplos, talvez um pouco menos conhecidos, mas que da mesma forma apresentam uma simplificação grosseira, encontram-se na “descoberta da relação entre o magnetismo e a eletricidade” e na “descoberta da Tabela Periódica de Mendeleev”. A primeira refere-se a Hans Oersted (1777-1851) ao observar, de forma (“completamente”) inesperada e acidental, a deflexão da agulha de uma bússola por um fio portador de corrente elétrica. A segunda, encontra-se vinculada ao “Sonho de Mendeleev” que, de acordo com algumas narrativas, acontece quando o químico russo Dmitri I. Mendeleev (1834-1907) sonha com toda uma estrutura de organização dos elementos químicos e, registrando-a em um papel, “descobre” a primeira Tabela Periódica.

Devido à ênfase em produtos da ciência, e não ao seu desenvolvimento, é comum que o termo descoberta seja utilizado como sinônimo de uma mera observação, um *insight*, um palpite, uma intuição; sem que tenha uma estrutura relevante. Contudo, o processo de uma descoberta científica não é tão simples, rápido e isolado como essas passagens costumam expor. Ao entrar em contato com “histórias” como as citadas, tem-se a impressão de que perguntas como “quem descobriu?”, “quando?” e “onde?” podem ser respondidas com certa facilidade e precisão. Reconstruções que incorrem em *whiggismos* e pseudo-histórias deixam de evidenciar que descobertas científicas possuem uma estrutura epistemológica e conceitual (Hanson, 1967; Allchin, 2004; Kuhn, 2018)⁴⁵.

No âmbito do positivismo lógico, a negligência ao processo de construção de conhecimento, em favor de seus resultados, tornava irrelevante preocupações sobre como, efetivamente, descobertas são realizadas. Em *Experiência e Predição* (1938), Hans Reichenbach explicita os termos contextos da descoberta e da justificativa, no âmbito de uma visão filosófica corrente no início do século passado. O contexto da descoberta corresponderia ao desenvolvimento de um conhecimento científico; relacionado, principalmente, com as origens psicológicas, subjetivas. Enquanto que a justificação seria uma espécie de estruturação lógica, havendo uma reconstrução racional do conhecimento.

Isto é, segundo Reichenbach (1938), e os defensores dessa dicotomia, os filósofos da ciência deveriam se ocupar apenas com o momento da justificativa, já que esse estaria envolto por procedimentos reconstruídos logicamente, isentos de idiosincrasias; eles deveriam

⁴⁵Embora o trabalho possa apresentar desdobramentos que levem a discussões de natureza ontológica sobre descobertas científicas, este não é o seu objetivo.

analisar os produtos da ciência que, por suas características, seriam passíveis de investigação filosófica. Já o contexto da descoberta estaria envolto por toda a sorte de subjetividades e, por isso, seria substrato apenas para as pesquisas de ciências cognitivas e descritivas, como a história da ciência, a sociologia e a psicologia. Em outras palavras, essa distinção entre os contextos fundamentava e legitimava a filosofia da ciência como um campo autônomo em relação a outras áreas do conhecimento (Raicik; Peduzzi, 2015).

Ademais, para os adeptos dessa vertente filosófica havia e deveria haver (idealmente) uma separação temporal entre a descoberta e a justificação, fazendo delas eventos distintos; uma diferenciação entre um processo por trás de uma descoberta e seu método de justificação, isto é, apenas esse último carregaria regras passíveis de análises lógicas (Hoynigen-Huene, 2006). Em síntese:

a filosofia da ciência, na contemporaneidade de Reichenbach, imersa no empirismo lógico, não visava trabalhar e analisar os processos da pesquisa científica. O essencial pautava-se nos resultados científicos; as ‘descobertas’ (como produto) realizadas, as teorias elaboradas, os métodos (lógicos) utilizados e a justificação empírica que derivam da teoria (Raicik; Peduzzi, 2015, p. 139).

Não obstante, o século XX foi marcado por importantes mudanças no campo epistemológico (mas não somente) das ciências, com as investigações de Gaston Bachelard, Karl Popper, Ludwik Fleck, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Michael Polanyi, Paul Feyerabend, Norwood Hanson, Larry Laudan, além de tantos outros. Esses filósofos realizaram reflexões *sobre* ciência, abordando aspectos históricos, culturais, filosóficos, conceituais, enfim, explorando fatores que influenciam direta ou indiretamente o empreendimento científico. Muitos deles, expressivamente Kuhn, buscaram evidenciar, sobretudo recorrendo à história da ciência, a incoerência de separar os contextos de descoberta e justificativa. Quando a ciência passou a ser observada a partir da humanidade que lhe é inerente e de sua efetiva prática (histórica, cultural, social) — tomando isso como uma parte de sua natureza e não como um defeito — reconheceu-se que elementos de racionalidade estão presentes nos processos de descoberta científica; assim como fatores sociológicos e psicológicos são constituintes do contexto da justificativa (Hanson, 1967; Raicik; Peduzzi, 2015).

O contemporâneo filósofo da ciência Paul Hoynigen-Huene (2006) sintetiza cinco alegações que sustentam e fundamentam críticas à dicotomização: (i) o contexto da descoberta e o contexto da justificativa são processos temporalmente indistintos; (ii) o contexto da descoberta possui aspectos lógicos; (iii) o contexto da descoberta e o contexto da

justificativa são ambíguos, “uma vez que descobrir algo significa adquirir conhecimento e, conseqüentemente, justificar (implícita ou explicitamente) essa nova aquisição, a distinção entre os contextos adquire peculiaridade dúbia” (Raicik; Peduzzi, 2015, p. 139); (iv) a justificativa possui aspectos sociológicos e psicológicos; (v) a psicologia e outras disciplinas empíricas são relevantes à epistemologia.

Ao não se analisar as descobertas científicas em uma perspectiva histórico-filosófica, desconsiderando sua estrutura conceitual, e dicotomizando os contextos da descoberta e da justificativa, cria-se uma visão inadequada da própria natureza da ciência. Isto é, idealiza-se o funcionamento do empreendimento científico a partir de narrativas que não condizem com a prática científica. É certo que “a lógica envolvida em uma descoberta científica não reúne consenso” (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 45), mas se a estrutura das descobertas não for estudada, tampouco se terá algum conceito sobre ela para se discutir.

Em uma de suas tantas provocações em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn conduz o leitor a pensar que a distinção dos contextos da descoberta e da justificativa se origina na própria tradição de pesquisa filosófica que possui forte raiz no positivismo/empirismo lógico. Assim, a separação dos contextos surge não porque eles eram de fato coisas diferentes – algo que uma “nova” perspectiva filosófica desde meados do século passado tem mostrado ser insustentável, sobretudo quando se recorre à história da ciência — mas em razão de perspectivas filosóficas de quem ponderava sobre a ciência. Tanto na *Estrutura* quanto, e principalmente, na *Tensão Essencial*, Kuhn defende que a ciência é um processo complexo, que mescla elementos sociológicos, valores epistêmicos e não epistêmicos de sujeitos e de uma comunidade, argumentando que a própria descoberta de algo possui uma estrutura, uma história e envolve reconhecer tanto que algo ocorre quanto o que ele é (Kuhn, 2011; 2018).

Em consonância com a alegação de que a dicotomização dos contextos da descoberta e da justificativa dificulta a compreensão do processo de construção do conhecimento, encontra-se o filósofo Norwood Hanson. Ele notabiliza uma estrutura conceitual e epistemológica das descobertas, fazendo emergir a complexidade e a riqueza de eventos presentes nesses episódios. Em *An Anatomy of Discovery* (1967), Hanson desenvolve e exemplifica tipos e categorias de descobertas, destacando a importância do contexto em que os eventos acontecem e das práticas envolvidas, para que se possa estabelecer uma compreensão mais ampla desse processo.

Aliás, diversos estudos contemporâneos se debruçam em refletir e discutir o papel epistêmico das descobertas científicas, sobretudo com análises e exemplificações históricas.

Naum Kipnis (2005), a título de exemplo, analisa a possível descoberta acidental de Oersted. Em seu resgate histórico-epistemológico, ele explora o papel do acaso em um processo de descoberta e, para destacar a serendipidade no desenvolvimento da ciência, apresenta diferenças entre uma descoberta inesperada, irregular, não planejada e imprevista. Helge Kragh (2019), em seu trabalho intitulado *Controversial Elements: Priority Disputes and the Discovery of Chemical Elements*, ao fazer uma discussão sobre descobertas que possuem aspectos controversos, faz massivas reflexões filosóficas, especificamente atreladas a exemplos da história da ciência.

Por certo, o entendimento de uma descoberta científica demanda, cada vez mais, uma investigação vinculada entre a história e a filosofia da ciência; inclusive com implicações ao ensino de ciências (Martins, 1990; Cordeiro; Peduzzi, 2010; Raicik; Peduzzi, 2016; Raicik, 2019; Neves *et al.*, 2021; Pires; Peduzzi, 2022). Afinal, no âmbito educacional, a separação entre os contextos e a inexistência de reflexões acerca da estrutura de uma descoberta, acaba negligenciando uma análise da gênese do conhecimento, em favor de uma sequência lógica e cronológica de teorias, infelizmente.

À luz do exposto, este trabalho aborda questões relacionadas às estruturas conceitual e epistemológica de descobertas científicas a partir de considerações de Hanson e Kuhn. Busca-se evidenciar, ainda que de forma sucinta, a complexidade envolvida nesse contexto e, inevitavelmente, a impossibilidade de sua dicotomização com a justificação, ressaltando a sua não pontualidade no espaço e no tempo. Ademais, a fim de contribuir para propiciar discussões à educação científica, são apresentados breves exemplos de descobertas que visam contrapor uma visão equivocada de que elas ocorrem a partir de um mero lampejo da mente, de um sonho, de um *insight*. À vista disso, por entre exemplos que perpassam a física e a química, em particular, centra-se naqueles relativos à lei periódica e à descoberta de alguns elementos químicos.

5.2 THOMAS KUHN E A INSEPARABILIDADE DO CONTEXTO DA DESCOBERTA E DA JUSTIFICATIVA: UMA ESTRUTURA PARA DESCOBERTAS CIENTÍFICAS

Na primeira metade do século XX, no âmbito da tradição de pesquisa da filosofia da ciência, era hegemônica a ideia de que os contextos da descoberta e da justificativa eram (e deveriam ser) processos distintos. Até mesmo teóricos que teciam críticas ao

empirismo/positivismo lógico, como Popper, defendiam essa separação. Kuhn foi um dos primeiros a chamar a atenção tanto para as simplificações descuidadas que eram feitas aos episódios de descoberta em ocasiões em que essa dicotomização era realizada, quanto ao hiato existente a esses contextos quando se suprimia uma análise filosófica (Hoynigen-Huene, 2006).

De forma significativa, as colocações kuhnianas se centram naqueles períodos de escolha teórica na ciência. Para ele, os pontos que sustentam a argumentação em favor da dicotomização se tornam inválidos quando, em uma análise minuciosa, percebe-se que o próprio contexto da justificação faz parte do processo de descoberta. Isso, pois fatores cognitivos e valores epistêmicos são elementos centrais para a justificação; segundo a “separação padrão” desses contextos, aspectos psicológicos (cognitivos) e subjetivos (valorativos) fariam parte exclusivamente da descoberta.

Kuhn defende que tanto fatores idiossincráticos possuem relevância filosófica, em momentos de escolha teórica, quanto critérios compartilhados. Mesmo que as escolhas de teorias sejam influenciadas por valores, e seus juízos, elas fazem parte da própria prática da ciência, e precisam assim ser analisadas. Essas escolhas envolvem finalidades cognitivas do próprio empreendimento científico e valores epistêmicos (e não epistêmicos) que são cultivados, também e inclusive, pela comunidade científica. Em síntese, Kuhn:

aponta que os argumentos ditos ‘lógicos’ ou ‘justificáveis’ não podem ser considerados mais relevantes e incomparáveis aos condicionamentos psicológicos e sociológicos, declarados como pertencentes ao contexto da descoberta – que são tão importantes e constituintes da atividade científica quanto os primeiros. É, deveras, um conjunto de valores existentes na ciência, epistêmicos ou não, que fornece a base partilhada para a escolha de teorias (Raicik; Angotti, 2018, p. 145).

Tanto na *Estrutura* quanto na *Tensão*, obras supracitadas, Kuhn apresenta capítulos específicos dedicados às descobertas, respectivamente intitulados *A Anomalia e a Emergência das Descobertas Científicas* (Kuhn, 2018) e *A estrutura histórica da descoberta científica* (Kuhn, 2011). Ele pondera, nesses escritos, sobre os cenários favoráveis para a ocorrência de descobertas, as reações dos cientistas diante de anomalias encontradas e discute, a partir de exemplos históricos, noções comuns e inadequadas de natureza da ciência que surgem junto a narrativas sobre elas.

O filósofo se detém em analisar e refletir, em particular, sobre aquelas descobertas que não são previstas pelas teorias aceitas, seja em situações fenomenológicas ou instrumentais, embora suas considerações não se restrinjam a elas. A fim de contrapor a ideia de que uma

mera observação possa caracterizar uma descoberta, ele enfatiza que “uma descoberta começa com a consciência de uma anomalia” (Kuhn, 2018, p. 128). Isto é, o cientista imerso em um período de ciência normal, por exemplo, não somente vê (tem os sentidos sensoriais ativados pelo experimento/fenômeno), mas toma conhecimento da anomalia que está ocorrendo e de sua natureza; de algo que não acontece como o esperado e do porquê disso. Dessa maneira, é de se esperar que o processo de descoberta se prolongue no espaço e no tempo.

É importante salientar que esse é justamente um dos motivos pelos quais se torna tão difícil determinar respostas específicas e pontuais, quando se pergunta “quem? quando? onde?” se descobriu alguma coisa. Como bem ilustra Kuhn, “a descoberta de um novo tipo de fenômeno é necessariamente um acontecimento complexo, que envolve o reconhecimento tanto da existência de algo, como de sua natureza” (Kuhn, 2018, p. 131). Alguns exemplos clássicos podem ajudar a ilustrar essa amplitude espaço-temporal (epistêmica e conceitual) de descobertas e questionar compreensões disseminadas em manuais científicos, livros didáticos e na própria divulgação da ciência.

A descoberta do oxigênio, discutida por Kuhn, é um exemplo. Essa história conta com pelo menos três “descobridores”, em contextos de pesquisa diferentes. São eles: Carl Scheele (1742-1786), Joseph Priestley (1733-1804) e Antoine Lavoisier (1743-1794). Relatos e descrições de experimentos sugerem que Scheele foi o primeiro a obter uma amostra do que foi posteriormente chamado de oxigênio. A partir de alguns experimentos, ele conseguiu isolar um gás, que denominou ar de fogo. Caso o critério para a descoberta desse gás fosse uma certa amostra dele, aquele que primeiro o tivesse aprisionado teria sido então o autor de sua descoberta. Não obstante, uma descoberta possui uma estrutura conceitual. Faz-se necessário discorrer sobre sua natureza e, além disso, comunicá-la à comunidade. Importa destacar, nesse sentido, que os estudos de Scheele só vieram à tona após vários anúncios de obtenção de tal gás por outros estudiosos.

Priestley e Lavoisier haviam aderido a visões diferentes para interpretar os fenômenos químicos, que os levou a olhares distintos para os resultados que alcançaram. Os próprios experimentos que desenvolveram para estudar o que hoje chamamos de oxigênio, reforçou as diferentes perspectivas que os dois defendiam. A história das investigações envolvendo o oxigênio — ou ar desflogisticado, como diria Priestley — aconteceram ao longo de três anos, pelo menos (1774-1776) Priestley era um entusiasta dos estudos de ciência natural. Ao longo de sua vida, adquiriu diversos equipamentos que permitira a ele realizar estudos com diferentes materiais para investigar os “ares” que deles saíam quando aquecidos. Para isso,

montou com mercúrio, vidrarias e uma lente, uma cuba pneumática que possibilitava aprisionar os “ares” para pesquisas mais sistemáticas (Martins, 2009). Já Lavoisier se distinguiu dos químicos da época, sobretudo, pela sua metodologia quantitativa e experimental, seu zelo teórico, por suas questões e conjecturas iniciais acerca da formação do ar, pelo uso de instrumentos de precisão.

Em 1774, Priestley aqueceu uma amostra de um precipitado de mercúrio que produzia um certo “ar”. Ao longo de 1774 e 1775, ele continuou repetindo os experimentos e concluiu que o gás produzido era, na verdade, “ar comum”, ou seja, ar atmosférico. Prosseguindo seus estudos, ele chegou a uma nova conclusão: o gás era diferente do “ar comum”; era, em certo sentido, muito mais puro, o que fez com que ele o chamasse de “ar desflogisticado” (Kuhn, 2011). Para chegar a essa conclusão, ele testou diferentes materiais na presença desse “ar”: ao acender uma vela em uma cuba, ele percebeu que ela queimava com muito mais brilho e vivacidade, assim como um camundongo conseguia sobreviver o dobro do tempo em certa quantidade desse “ar” do que no ar atmosférico convencional. Na época, os adeptos do conceito de flogístico defendiam que uma vela queimando em um recipiente era preenchido com ele, e saturando-o fazia com que ela apagasse. No caso priestleyano, como a vela nesse “ar” ficava, de certa forma, acesa por mais tempo, ele concluiu que tinha conseguido produzir um ar sem flogístico, por isso o nome “ar desflogisticado” (Martins, 2009). O próprio Priestley testou o “ar” e sentiu uma leveza no peito, uma sensação boa; chegou a sugerir que poderia ser utilizado como recreação entre os mais abastados.

Ao longo desses anos, porém, Priestley não trabalhou sem deixar de dialogar com a comunidade a qual fazia parte; ele interagiu com outros cientistas e publicou trabalhos com seus resultados em periódicos importantes como o *Philosophical Transactions*. Ainda em 1774, em uma viagem até Paris, conversou com Lavoisier e lhe contou sobre o que acontecia quando se aquecia um precipitado de mercúrio. Nesse mesmo ano e no início de 1775, Lavoisier repetiu o experimento de Priestley e concluiu, em um primeiro momento, que o gás deveria ser “ar comum”. Cabe destacar que Lavoisier já vinha desenvolvendo experimentos sobre o papel do ar na calcinação e combustão, desde pelo menos 1772 (Raicik; Gonçalves, 2022). Com a publicação de Priestley sobre o “ar desflogisticado”, Lavoisier reexaminou seus resultados e em 1776 pôde averiguar que o gás produzido era um componente que poderia ser separado do ar atmosférico. Nesse momento, pode-se dizer que Lavoisier não apenas viu um tipo de gás sendo produzido, mas também tomou consciência de sua natureza (Kuhn, 2018). Esse tomar consciência sobre a sua natureza torna-se uma das características daquilo que Kuhn chama de descoberta de algo, nesse caso, o oxigênio. Apesar de Priestley ter um papel

importante nesse episódio histórico, “ao que parece, quem descobre algo tem também de estar ciente da descoberta, *assim como saber o que foi descoberto*” (Kuhn, 2011, p. 188, grifo dos autores). Com seus estudos e desenvolvimentos teóricos amparados em diversos experimentos, Lavoisier também conseguiu mostrar que o flogístico não existia, isso porque ele evidenciou que durante as reações químicas a massa dos produtos não se alterava, o contrário do que os defensores dessa corrente teórica argumentavam (Peduzzi, 2019). Isso foi bastante importante, já que mostrava uma outra perspectiva não apenas para o “ar desflogisticado”, como também atacava a própria teoria que era a base de sua explicação.

Por certo, o episódio demanda um resgate pormenorizado para sua plena compreensão, que envolve, inclusive, uma controvérsia por trás de sua descoberta. Mas uma breve menção de sua complexidade, parece suficiente para mostrar, em um primeiro momento, a riqueza de detalhes que podem existir na história e na estrutura de uma descoberta. É possível dizer que tanto Scheele, quanto Priestley e Lavoisier produziram oxigênio em seus laboratórios a partir do aquecimento de um precipitado de mercúrio, assim como tantos outros que o aqueceram e podem nem ter notado a produção de tal gás. Contudo, faz-se necessário analisar o episódio, em termos históricos e epistemológicos, à luz de um referencial conceitual e filosófico acerca da estrutura de uma descoberta. Afinal, como defende Kuhn,

o contexto da justificativa está imerso em aspectos sociológicos e psicológicos. Ele argumenta que esse contexto, assim como o da descoberta, permeia a escolha de teorias pela comunidade. A razão e as circunstâncias que levam a uma determinada escolha variam de uma comunidade científica para outra e depende de cada membro da mesma, que pode interpretar diferentemente determinados valores paradigmáticos (Peduzzi; Raicik, 2020, p. 31).

Destarte, no caso da descoberta do oxigênio, não se pode restringir o episódio a obtenção do gás por Lavoisier e suas publicações sobre isso, assim como não se pode, a partir das reflexões de Kuhn, dizer categoricamente que Scheele o descobriu. Vale destacar que, com o relato dessa descoberta, torna-se possível perceber que aspectos lógicos e subjetivos permeiam todo o episódio, seja nas primeiras ideias surgidas com os resultados experimentais, quer com as publicações de seus resultados; quadros psicológicos, históricos, culturais, sociais, lógicos, racionais, teóricos estavam permeando todo contexto.

Outro episódio histórico que ilustra a complexidade dos processos de uma descoberta científica é aquele que envolve a Tabela Periódica mendeleeviana. Esse caso evidencia também os usos grosseiros do termo *descoberta*, já que em muitos locais se encontra que Mendeleev *descobriu a Tabela Periódica* e não a *Lei Periódica*. A partir do início do século XX, com o crescimento das pesquisas sobre os átomos, estabeleceu-se que o número atômico

era um parâmetro melhor que o peso atômico para basear a Lei Periódica (Kaji, 2003). Na medida em que foram sendo estudadas características dos átomos, como o raio atômico, outras relações de periodicidade foram traçadas. A descoberta da Lei Periódica perpassa décadas de estudos de diferentes áreas, sendo enunciada por Mendeleev em 1869, mas estando em constante desenvolvimento. As contribuições anteriores a Mendeleev que foram importantes para o estabelecimento dessa Lei, como as sistematizações de Alexandre de Chancourtois com seu Parafuso Telúrico, ou John Newlands com sua Lei das Oitavas, ilustram a riqueza de sua história. Eles e outros estudiosos, porém, não abrangeram integralmente os elementos conhecidos, no âmbito de aceitabilidade da comunidade científica, assim como o químico russo fez (Scerri; Worrall, 2009)⁴⁶.

Mendeleev desenvolveu sua Lei Periódica enquanto escrevia o manual científico sobre química inorgânica, *Principles of Chemistry*, durante a última metade da década de 1860. A motivação para o desenvolvimento de uma Tabela com um código que organizasse os elementos a partir de suas características físico-químicas veio, inclusive, da forma como ele estava organizando seu livro (Brito; Rodriguez; Niaz, 2005; Kaji, 2003). Ele selecionava elementos que possuíam características semelhantes e os explorava juntos em capítulos que abrigavam esses grupos. Contudo, em um dado momento, as combinações já conhecidas de elementos foram exauridas de explicação — assim como leis químicas importantes para a química inorgânica também haviam sido apresentadas — e Mendeleev não sabia como prosseguir seu livro. Foi então que focou seu trabalho em buscar uma relação generalizadora que apontasse para as características semelhantes dos elementos químicos. Ele considerava o peso atômico (nome típico da época) dos elementos uma importante propriedade quantitativa que possuía relativa precisão experimental, ancorando-se nesse aspecto para pensar uma relação entre eles e suas propriedades. Depois de revisar seus estudos, conseguiu encontrar uma sistematização periódica que atrelava as propriedades físico-químicas dos elementos em função de seu peso atômico (Mendeleev, 1869). Ao desenvolver a Lei Periódica e organizar a Tabela, Mendeleev percebeu que alguns elementos pareciam não se encaixar nas características que deveriam ter de acordo com seus estudos. Por isso, propôs a modificação de alguns pesos atômicos e deixou alguns espaços em branco para elementos que seriam

⁴⁶Mendeleev iniciou a escrita de um manual científico sobre química inorgânica em 1867. Nesse período eram bem conhecidos pela comunidade científica 63 elementos químicos que tinham seus pesos atômicos determinados pela hipótese de Avogadro, dos quais se tinha informações relativamente confiáveis, ou seja, aceitáveis, sobre os seus volumes atômicos. Foram esses 63 elementos químicos que apareceram na Tabela de Mendeleev em 1869 (Gordin, 2019; Scerri; Worrall, 2009). Brooks (2002), contudo, aponta que outros elementos (mais especificamente sete) ainda pouco conhecidos, isto é, que não tinham propriedades físico-químicas e principalmente peso nem volume atômicos bem definidos, foram deixados de fora da primeira Tabela desenvolvida por Mendeleev.

posteriormente descobertos, os quais descreveu algumas de suas características físico-químicas (Bensaude-Vincent, 1986; Gordin, 2019).

Esse caso da Lei Periódica salienta como os contextos da descoberta e da justificativa são indistintos: a descoberta da Lei por Mendeleev enquanto escrevia um manual e a previsão de novos elementos durante esse processo salientam essa mescla de contextos. Vale destacar também notáveis aspectos considerados subjetivos. Durante seus estudos, Mendeleev chegou a utilizar a estruturação do jogo de cartas *paciência*, que o entretinha nas horas de lazer, para organizar os elementos em sua mesa, anotando-os em cartões e buscando relações entre seus pesos. A quantificação das relações periódicas, algo ainda não feito da forma como ele fez. O próprio contexto de incentivo à pesquisa e a aceitação da Tabela na Rússia e na Alemanha na época, merece atenção. As comunidades científicas dos dois países, majoritariamente, convergiam no que se refere às concepções de elementos e a pesagem deles, isto é, aceitavam a possibilidade de tratar os elementos atômicamente, o que na época era muito discutido, havendo disputas teóricas entre vários estudiosos. Na França, por exemplo, havia opiniões divergentes em relação aos países citados anteriormente: em geral, defendiam a teoria do equivalente para a pesagem dos elementos. Como no período o instrumental disponível não permitia um auxílio para a escolha entre as teorias, em grande parte, o que influenciava a escolha teórica dos cientistas era, sobejamente, o seu posicionamento filosófico sobre a natureza da matéria (Oki, 2009). Isso deixa evidente que no contexto de justificativa também existem aspectos sociais, culturais e idiossincráticos aos pesquisadores, que influenciam na aceitação e escolha de teorias (Raicik; Peduzzi, 2015).

Essa separação dos contextos ao estudar a ciência, explicitada por Reichenbach, como sobredito, e adotada por muitos filósofos da ciência que tinham o positivismo como sua doutrina, deixou por muito tempo as descobertas científicas sem uma análise filosófica; apenas a justificativa, o produto final da ciência, seria passível de análise filosófica por estar, idealmente, isenta das subjetividades humanas. Deixar de analisar essa estrutura tão fascinante da ciência negligencia e empobrece sua complexidade, diminui a extensão de sua natureza e lhe nega o caráter humano. Esse último lhe é suprimido tanto quando as subjetividades são entendidas como um fator prejudicial à ciência, como quando se diz que na justificativa elas não existem. Uma historiografia contemporânea e atual, e a moderna filosofia da ciência, evidenciam justamente o contrário: as descobertas científicas são passíveis de análises filosóficas e a humanidade inerente à ciência não é uma característica que deve ser eliminada, ela faz parte de sua natureza e não lhe é prejudicial (Hanson, 1967; Kuhn, 2018).

5.3 UMA TAXONOMIA DE NORWOOD HANSON PARA AS DESCOBERTAS CIENTÍFICAS

Em seu artigo *An Anatomy of Discovery* (1967), supracitado, Hanson enfatiza consequências em se dicotomizar os contextos da descoberta e da justificativa para um entendimento mais amplo de ciência; e busca refletir sobre as práticas científicas de uma forma menos idealizada, assumindo a natureza humana e peculiar do empreendimento científico. Em associação a essas ponderações, sinaliza o quão prejudicial foi, histórica, social e epistemologicamente, deixar alheio de análises filosóficas o contexto da descoberta para a própria compreensão de sua estrutura conceitual e epistemológica. Ele defende que “um conceito não analisado é um conceito desconhecido” (Hanson, 1967, p. 321) e que, portanto, as descobertas só podem ser melhor compreendidas quando submetidas a análises de distintas naturezas. Nesse sentido, destaca que geralmente há uma distorção na conceitualização das descobertas, na ideia de inovação e na noção de criatividade, pela falta de reflexões sobre esses contextos.

Com o propósito de elucidar e refletir acerca de uma estrutura de descobertas científicas, Hanson descreve e exemplifica alguns de seus tipos e categorias. Ele argumenta sobre a importância de um estudo conceitual e epistemológico dos processos de descoberta, enfatizando a relevância de sua análise filosófica. Assim, discorre sobre a descoberta *de um X*, *de X*, *daquele X* e *de X como Y* e também sobre categorias de descoberta *puzzle-out* (descoberta esperada/prevista), *subsume and reticulate* (descoberta generalizadora), *trip-over* (descoberta ao acaso) e *back-into* (descoberta resistiva), a fim de “delinear diversos graus de complexidade conceitual e perplexidade em relação a noção de descoberta” (Hanson, 1967, p. 324). Em cada um desses tópicos, Hanson deslinda sobre características desses tipos e categorias de descoberta e acerca de particularidades que se pode encontrar em cada caso, utilizando para isso exemplos da história da ciência. Ao defender uma análise filosófica para as descobertas, ele não ignora a humanidade inerente às práticas científicas, valorizando diversos traços objetivos e subjetivos que surgem ao apreciar com atenção o empreendimento científico.

Em outras palavras, Hanson defende que a estrutura de uma descoberta pode conter informações importantes para o entendimento da própria ciência. Elementos envolvidos nesse contexto fazem parte das práticas científicas e não os considerar pode acarretar lacunas na

história da ciência e na própria compreensão epistemológica desse empreendimento. Nesse ponto, é pertinente destacar como as perspectivas de Kuhn e Hanson podem ser combinatórias no que se refere à ênfase que os dois filósofos da ciência dão à importância em se analisar as descobertas científicas como estruturas e não como simples acontecimentos desprovidos de práticas científicas dignas de análises filosóficas. Assim, discutir os tipos e categorias de descobertas científicas, como os apresentados por Hanson, auxilia na identificação e problematização de suas estruturas, além de proporcionar um fundamento para novas análises histórico-epistemológicas.

O primeiro tipo de descoberta científica abordada por ele é a *descoberta de um X*, aquela referente a um objeto (um planeta, por exemplo)⁴⁷, um processo (a oxidação rápida) ou um evento (uma colisão). Um exemplo desse tipo de descoberta pode ser encontrado em elementos previstos por Mendeleev durante o desenvolvimento da Tabela Periódica. Três desses elementos, que foram muito importantes para a aceitação da Tabela, na época, foram chamados por ele de *eka-aluminum*, *eka-borum* e *eka-silicon*. O prefixo *eka* quer dizer que eles antecederiam ou sucediam os elementos que estão sinalizados no nome (o *eka-aluminum*, por exemplo, ocupava a posição imediatamente seguinte ao alumínio). O químico precisou fazer a adição desses elementos para que a Lei Periódica proposta por ele operasse de forma coerente a partir das características físico-químicas dos elementos que já eram conhecidos à época (Bensaude-Vincent, 1986). Alguns anos depois, esses elementos foram estudados por outros investigadores: o *eka-aluminum* foi obtido em 1875 por Paul Émile Lecoq de Boisbaudran e passou a ser conhecido como Gálio; o *eka-borum* foi estudado por Lars-Frederik Nilson em 1879 e hoje é nomeado Escândio; já o *eka-silicon* foi obtido em 1886 pelo químico Clemens Alexander Winkler e recebeu a alcunha de Germânio (Brito; Rodriguez; Niaz, 2005).

Além de se encaixar no tipo *descoberta de um X*, esse exemplo histórico também pode representar a descoberta categorizada hansonianamente como *puzzle-out* (decifrar). Nesse caso, as descobertas são feitas a partir de uma espécie de resolução de quebra-cabeças, isto é, os estudiosos antecipam (no sentido de antever) aquilo que, espera-se, será decifrado; cria-se, portanto, uma expectativa sobre algo. Existe, de antemão, uma expectativa teórica e psicológica do investigador, ou da comunidade, na procura de respostas a uma indagação; como na busca pelos elementos cujas características químicas Mendeleev já havia sugerido.

A *descoberta de X* refere-se a um processo ou um fenômeno que não são locais, isto é,

⁴⁷Serão postos entre parênteses exemplos mais gerais dos tipos de descoberta para dar uma noção mais imediata do que se trata.

remetem a processos universais e abrangentes. Hanson (1967) cita a Gravitação Universal descoberta por Newton, já que ela é a explicação geral de um fenômeno e a união (diga-se generalização) do entendimento dos eventos mecânicos celestes e terrestres. É possível citar também a Lei Periódica de Mendeleev. Ela não foi um fenômeno local ou um processo específico, mas algo que descreve o comportamento e as características periódicas dos elementos químicos, de forma geral. Nesse sentido, a Lei Periódica também pode ser utilizada como um exemplo de descoberta categorizada como *subsume and reticulate*, que se relaciona àquelas generalizantes, de modo que fenômenos previamente conhecidos (ou parcialmente conhecidos) são articulados de forma explícita. Em vista disso, Mendeleev conseguiu generalizar quantitativamente a periodicidade das propriedades dos elementos químicos, algo que já estava sendo tentado, mas não da mesma forma e com a mesma abrangência que o químico russo alcançou (Bachelard, 2009).

Cabe destacar que Mendeleev desenvolveu sua Lei Periódica enquanto escrevia o *Principles of Chemistry*, supracitado. O objetivo da escrita estava centrado na atualização dos materiais didáticos para universitários disponíveis na Rússia sobre química inorgânica. Mendeleev escreveu o primeiro volume (compreendido em quatorze capítulos) focando em temas já bem conhecidos pelos químicos da época — como os compostos da água, as Leis de Dalton, Gay-Lussac e Avogadro-Gerhardt e Berthollet, os compostos de nitrogênio e carbono, os agrupamentos de elementos conhecidos etc. Em um dos capítulos, ele discorre sobre átomos e moléculas; um assunto que não reunia consenso, mas estava em intensa discussão naquele período (Mendeléeff, 1891).

Ao final da escrita do volume, e na perspectiva do desenvolvimento de um outro, Mendeleev se deparou com um impasse: ele já havia tratado sobre todos os grupos (ou famílias) de elementos conhecidos na época e não sabia como abordar os elementos que não se encontravam nessas classificações. Seu foco passou a ser desenvolver uma sistematização que abarcasse todos esses elementos. Aqui, torna-se possível retomar a discussão ao tipo de descoberta *de X* e a categoria *subsume and reticulate*. Isso, pois ao buscar uma classificação abrangente para os elementos, Mendeleev não olhou apenas para suas características qualitativas, como fizeram os estudiosos antes dele (Bachelard, 2009), mas visou uma generalização que abarcasse propriedades quantitativas, como o peso atômico dos elementos. Inclusive, no trabalho em que ele apresenta a Lei e a Tabela Periódica à comunidade científica, deixa claro que o parâmetro quantitativo (o peso atômico) era essencial para que abarcasse todos os elementos químicos conhecidos, algo que os parâmetros qualitativos não proporcionavam (Mendeleev, 1869). Pode-se destacar, com isso, que ele tinha consciência

dessa generalização, como se buscou frisar na seção anterior à luz de uma perspectiva kuhniana. Com isso, conseguiu descobrir que as propriedades químicas dos elementos eram uma função do seu peso e que elas se repetiam periodicamente. O químico russo, inclusive, defendeu a autoria de sua descoberta, da Lei Periódica, e seu ineditismo ao observar o que chamou de uma *lei da natureza*:

Nem De Chancourtois, a quem os franceses atribuem a prioridade da descoberta da lei periódica, nem Newlands, citado pelos ingleses, ou L. Meyer, considerado pelos alemães o fundador da lei periódica, ousaram predizer as propriedades dos corpos ainda não descobertos ou procuraram modificar os pesos atômicos adotados e também consideraram a lei periódica como uma nova lei da matéria, apoiada em bases sólidas e podendo conter fatos ainda não generalizados como eu fiz desde o início (1869) (Mendeléeff, 1891, p. 25, v. 2).

Por certo, o episódio é complexo e as nuances dessa descoberta demandam ou merecem um resgate em particular, para que elementos fascinantes desse caso sejam devidamente explorados. Além das particularidades da história do próprio Mendeleev, existem ainda outros fatores que são centrais para sua compreensão, como outras sistematizações construídas ao longo da década de 1860, a disputa de prioridade da descoberta entre a Tabela mendeleeviana e a tabela de Meyer, o duplo reconhecimento deles pelas academias de ciência da época, o contexto histórico e cultural russo que demandaram investimentos e incentivos para pesquisa, a pluralidade de espaços que Mendeleev ocupava, enfim, fatores que evidenciam com ainda mais afinco o descobrimento da Lei Periódica e que se mostram parte da própria estrutura de uma descoberta.

Ademais, no processo de descoberta da Lei Periódica e na construção da Tabela Periódica mendeleeviana é possível identificar diversos fatores subjetivos e objetivos (psicológicos, racionais da prática científica e idiossincráticos aos pesquisadores) acontecendo em concomitância e sendo indissociáveis uns dos outros.

Descobertas que são muito específicas, ou seja, com traços bem particulares de certos objetos ou processos, podem ser denominadas de *descobertas daquele X*, na perspectiva hansoniana. Nesse caso, é pertinente citar as correções mendeleevianas nos pesos atômicos de alguns elementos químicos. Ao aplicar a sua Lei Periódica aos elementos já conhecidos, Mendeleev percebeu que alguns deles não se enquadravam na sequência determinada pela Lei, não condizendo com as características químicas que deveriam ter. Com isso, ele concluiu que o problema não estava em sua Lei Periódica, mas com os pesos atômicos conhecidos. Para resolver isso, ele determinou que tais elementos possuíam outros pesos atômicos e,

assim, seus locais e propriedades físico-químicas ficariam coerentes na Tabela Periódica. Uma das trocas mais conhecidas foi a inversão dos pesos atômicos do Iodo e do Telúrio; dois elementos químicos bem conhecidos na época. Ao longo das décadas que seguiram à publicação da Tabela Periódica de Mendeleev, os novos pesos atômicos foram sendo verificados (Bensaude-Vincent, 1986).

O caso do Iodo e do Telúrio foi tema de vastas discussões que chegaram até a quarta década do século XX. Após diversas pesquisas e mudanças na classificação da Tabela, como a utilização do número atômico e não mais do peso atômico como parâmetro organizador, algumas considerações de Mendeleev se mostraram inadequadas (Gordin, 2019). Contudo, cabe ressaltar que ele foi coerente com as pesquisas que realizava à sua época e com a sua própria Lei Periódica. Essa forte convicção com os conhecimentos construídos pode ser apontada como uma característica da própria natureza do empreendimento científico, já que se o pesquisador não acredita, ele mesmo, nas pesquisas que realiza, qualquer empecilho será motivo de desistência (Peduzzi; Raicik, 2020). Vale destacar ainda que, nesse período, nem o conceito de peso atômico nem os procedimentos e instrumentações para realizar a pesagem dos elementos eram consenso entre os estudiosos, por isso havia divergências, por vezes gritantes, entre eles (Oki, 2009).

Hanson apresenta, ainda, o tipo de *descoberta de X como Y*. Esse tipo de descoberta envolve a observação de um fenômeno, corpo ou objeto que leva a um desentendimento na sua categorização. Isso pode acontecer por conta das convicções teóricas do cientista e/ou dos aparatos instrumentais que lhes são disponíveis no momento. O episódio histórico do *nebúlio* pode servir como fonte de exemplificação para esse tipo de descoberta. No ano de 1864, o astrônomo William Huggins (1824-1910) observou uma brilhante linha de emissão verde com comprimento de onda de 500,7 nanômetros na nebulosa planetária NGC 6543. Essa linha espectral não correspondia a de nenhum elemento químico conhecido na época, por isso, depois de algum tempo estudando essa linha, os estudiosos começaram a sugerir que ela pertencia a um elemento químico desconhecido e o chamaram de *nebúlio* (para fazer referência à nebulosa) (Kwok, 2021). Por décadas (final do século XIX e início do século XX), muitos estudiosos realizaram estudos sobre esse elemento, procurando obtê-lo em ambiente terrestre (assim como havia acontecido com o Hélio) e buscando entender suas características físico-químicas (Robinson, 2007). Cientistas realizaram estudos buscando explorar as propriedades desse possível novo elemento, como John W. Nicholson e o laureado pelo Nobel de Física Subramanyan Chandrasekhar (1910-1995), que escreveu sobre a sua emissão em nebulosas planetárias (Nicholson, 1911; Chandrasekhar, 1935).

Contudo, ao longo dos avanços dos estudos espectroscópicos no século XX, em grande parte ocasionados pela física quântica, constatou-se que a linha do *nebúlio* era uma linha proibida do Oxigênio ionizado (O^{++}), que ficou conhecida como OIII. Essa linha espectral do Oxigênio ocorria apenas em condições muito específicas de nebulosas, nas quais a densidade era muito baixa (Kwok, 2021). Então, nesse caso, tem-se a descoberta de novo elemento químico (*que seria o Y de Hanson*), que depois foi entendido como uma linha espectral do Oxigênio, um elemento conhecido há bastante tempo pelos estudiosos (*que seria o X descoberto*). Embora o episódio em questão necessite de uma melhor contextualização para seu amplo entendimento, a sua citação no âmbito deste artigo permite evidenciar, ainda que brevemente, uma ressalva feita por Hanson, de que é preciso ter cuidado histórico com descobertas desse tipo para que não se passe a impressão de que elas são “sinônimos de meras ‘observações’ ou de ‘conclusões’ precipitadas e não, necessariamente, de um processo árduo de estudos, reflexões e interpretações” (Raicik; Peduzzi, 2016, p. 154).

Torna-se pertinente resgatar a concepção de Kuhn de que, para que alguém descubra algo, faz-se necessário que tome consciência de que descobriu. Mas então, aqueles que observaram as linhas espectrais do Oxigênio ionizado e identificaram como sendo de um novo elemento químico, o *nebúlio*, nada descobriram? Ou nada têm a ver com a descoberta da “linha proibida” do Oxigênio? Certamente as pessoas que estudaram o *nebúlio* foram de grande importância não somente para a posterior conclusão de que se tratava de uma linha espectral de um elemento já conhecido, como para o próprio desenvolvimento da ciência normal do período. Assim sendo, e estando de acordo com Hanson e Kuhn, é indispensável analisar a estrutura da descoberta — aqueles que estudaram o *nebúlio* já faziam parte dessa estrutura, desse caminhar da história da ciência — que envolve não apenas o momento de identificação de algo em específico, mas toda a trilha de acontecimentos e contextos que influenciaram os pesquisadores. Caso um estudo mais singular demande a especificação daquele que chegou à natureza da descoberta, existem meios de fazer isso sem que se cometa anacronias e/ou whiggismos, como a que o químico Edmond Rancke-Madsen define como *descoberta efetiva de um elemento*, na qual se analisa a estrutura da descoberta, mas se define aquele que caracterizou o elemento como um elemento químico (dizendo suas propriedades, interações, aplicações, etc) (Kragh, 2019).

Além disto, Hanson denominou de *trip-over* a categoria que se refere àquelas descobertas que ocorrem como um “tropeço”, isto é, o estudioso não antecipa o que descobrirá, por isso é como se tropeçasse naquilo que é descoberto. Assim, não existe antevisão psicológica ou teórica. Contudo, é importante ressaltar que, quando o estudioso se

depara com uma descoberta dessa categoria, para que possa identificá-la como algo digno de atenção, ele precisa dispor de um arcabouço teórico capaz de lhe proporcionar a compreensão daquilo. Um exemplo histórico que pode ser citado nessa categoria é a descoberta do Fósforo por Hennig Brand em 1669. Brand é considerado um químico-alquimista por estar no limiar entre as duas tradições investigativas. Foi um autodidata que exercia seus ofícios em Hamburgo. Ele é considerado por alguns historiadores como um dos primeiros estudiosos a ser registrado na história como *descobridor* de um elemento químico. Brand estava em busca da pedra filosofal, quando deixou certa quantidade de urina apodrecer e, posteriormente, destilou-a por várias horas adicionando ao procedimento três vezes a quantidade de areia (sílica). No final, o que obteve foi um sólido ceroso de cor branca e que brilhava no escuro (Maar, 1999). Brand não estava em busca do Fósforo, mas foi o que alcançou com os procedimentos realizados.

Após conseguir o sólido ceroso e estudá-lo, Brand descreveu suas características, percebendo que não havia algo parecido registrado. Ao reconhecer seu caráter volátil e luminescente, passou a divulgar seu trabalho sem revelar as práticas de obtenção da substância. Vários estudiosos que prestavam serviços a cortes reais — intelectuais serviam a monarcas, trazendo novidades e em alguns casos garantindo a soberania científica em alguns achados científicos — se interessaram pelo trabalho e passaram a escrever ou visitar Brand em busca das instruções experimentais. Quando da socialização dessa nova descoberta, esses estudiosos, com os quais ele interagiu, tiveram grande importância na circulação desse conhecimento no continente europeu (Weeks, 1956).

Além disso, como sinaliza a historiadora da ciência Mary Elvira Weeks, a descoberta desse sólido ceroso, posteriormente chamado de Fósforo⁴⁸, os seus meios de obtenção e os aperfeiçoamentos de pureza das amostras estão ligados a nomes como Daniel Krafft, Johann Kunckel, Robert Boyle, Wilhelm Homberg e até mesmo Gottfried Leibniz (Weeks, 1956). Contudo, isso não significa que todos esses estudiosos descobriram o Fósforo. Inclusive, essa é uma discussão que foi contemporânea a eles. Brand era bastante restrito a quem ele fornecia sua metodologia experimental; além disso, é importante salientar que nesse período a linguagem padronizada da química, tal como se conhece hoje, ainda não era empregada. Por

⁴⁸Quando Brand obteve o sólido ceroso chamou-o de fogo frio, por ser uma substância fosforescente. O nome “fósforo” já era utilizado desde a alquimia para designar substâncias com luz própria (fosforescentes), isso porque phosphorus vem do latim, que significa “portador de luz”. Por exemplo, o alquimista Christian Adolph Balduin (1632–1682) preparou uma substância fosforescente de nitrato de cálcio que chamou de “hermetic phosphorus” (Keller, 2014); tal substância e nomenclatura era conhecida pelos estudiosos da época, como Kunckel, que chegou a fazer uma apresentação do “hermetic phosphorus” em Hamburgo (Weeks, 1956). Atualmente, na língua inglesa, são utilizadas duas palavras para diferenciar o fósforo de Balduin e o obtido por Brand: phosphor é o “hermetic phosphorus” e phosphorus é o fósforo de Brand.

isso, muitas vezes, havia dificuldades na comunicação entre aqueles que estudavam os processos químicos, uma vez que as nomenclaturas e as formas de mensurar as substâncias podiam variar. Kunckel e Krafft foram um dos primeiros estudiosos a entrar em contato com Brand indo até a casa dele para conhecer o novo achado, na época ainda chamado de fogo frio. Leibniz, que foi contemporâneo à descoberta do fósforo, escreveu uma história da obtenção do fogo frio e registrou que Brand havia passado pessoalmente a Kunckel e Krafft os passos para obter o sólido ceroso (Weeks, 1956).

Não se tem registro se foi pela dificuldade de comunicação entre os estudiosos ou pela pouca destreza em realizar experimentação, mas Kunckel não conseguiu repetir os procedimentos de Brand. Chegou a acusá-lo de ser demasiadamente obscuro em sua fala, a ponto de não conseguir descrever de forma executável os procedimentos. O estudioso, baseado no que sabia sobre os procedimentos de Brand, foi pelo caminho da “tentativa e erro” até conseguir obter a cera luminescente. Kunckel só conseguiu obter o fósforo quando adicionou areia à urina antes da destilação (Brand adicionava somente no momento da destilação). Por essa adaptação nos procedimentos, ele passou a requerer um título de “redescobridor” do Fósforo. Todavia, Leibniz, ao escrever uma história sobre o estudo da substância, na época, defendeu a autoria de Brand no processo e na obtenção do Fósforo. O historiador da química Hermann Peters, no início dos anos de 1900, fez um estudo sistemático utilizando cartas trocadas por Brand, Kraft, Kunckel, Homberg, Leibniz e outros que estiveram envolvidos com o estudo do fósforo e concluiu que, em algum momento, esses estudiosos creditam a Brand a descoberta da substância, tanto pela identificação quanto pelos procedimentos pioneiros⁴⁹.

Em síntese, à luz da história e recorrendo à noção hansoniana de descoberta *trip-over*, é possível dizer que Brand descobriu o Fósforo. Isso porque, apesar de ter chegado de forma inesperada na substância cerosa luminescente, ele teve consciência de que estava obtendo uma substância ainda não estudada; ele não apenas *viu* algo novo, mas foi em busca de sua natureza explicativa. Em síntese, é possível enfatizar a importância de uma análise concomitante entre contexto de descoberta e justificativa, pois, aqui, um resgate histórico pode trazer à tona não apenas a estrutura e relevância de uma descoberta, como se buscou frisar, mas até controvérsias acerca de sua prioridade, no sentido de reivindicação pelo que foi descoberto.

Hanson fala ainda sobre a categoria chamada de *back-into*, que está ligada a uma

⁴⁹Kunckel, no caso, reconhece que Brand obteve o sólido ceroso, porém reivindica a si próprio a sistematização dos procedimentos experimentais e, com isso, um “redescobrimto” da substância.

descoberta resistiva. Nela, as expectativas teóricas do estudioso vão de encontro com as observações feitas. Por isso, essa categoria de descoberta é marcada por uma resistência em aceitar os próprios resultados por parte do cientista ou da sua comunidade. A descoberta do elemento químico Hélio pode ser utilizada para exemplificar essa questão. Os processos de construção de conhecimento sobre esse elemento são bastante complexos, inclusive, pode-se falar em uma espécie de duas descobertas do Hélio, já que ele foi primeiramente identificado em espectroscopias solares e posteriormente em procedimentos utilizando materiais terrestres (Kragh, 2009).

Em 1868 ocorreu um eclipse solar total, que foi estudado por inúmeros estudiosos que se deslocaram até a Índia (local de melhor visibilidade) para explorar esse evento astronômico. Nas espectroscopias feitas, foi notada uma linha na faixa do amarelo que se parecia muito com a do sódio. Contudo, após alguns estudos, constatou-se que ela não era do sódio. Foi então que Edward Frankland e Norman Lockyer sugeriram que poderia se tratar de um novo elemento químico e sugeriram o nome de “Helium” em homenagem ao Sol (em grego, Sol é chamado de Helios). Por algum tempo esse elemento ocupou pouco espaço nas discussões sobre química, sendo mais citado em trabalhos envolvendo espectroscopia e astronomia. Já em 1888, um pesquisador de um instituto de geologia norte-americano, Joel Hillebrand, estava realizando um estudo fervendo uranito com ácido sulfúrico. Essas práticas fizeram surgir um gás inerte. Uma amostra desse gás foi, em 1894, analisada por William Ramsay, que havia recém descoberto o argônio e estava em busca de mais amostras de gás inerte para ver se o encontrava a partir de outras fontes. Através da espectroscopia do gás, Ramsay ficou bastante surpreso com uma linha espectral na faixa do amarelo que surgiu no espectrômetro. Essa linha espectral era tão inesperada por ele, que o fez resistir a essa observação, desconfiando da pureza da amostra e do funcionamento da instrumentação (Moore, 1921). É nesse ponto que seria válido ressaltar a resistência do estudioso frente aos resultados de sua própria pesquisa, caracterizando uma descoberta *back-into*. Além disso, alguns membros importantes da comunidade científica da época eram bastante receosos com as primeiras formas de estudo desse elemento, que ocorreu através de espectroscopia astronômica. O próprio Mendeleev foi um grande crítico do trabalho dos astrônomos que utilizavam a espectroscopia astronômica em seus estudos (Kragh, 2009). Isso mostra também uma resistência da própria comunidade científica frente as novidades, tanto no sentido de descoberta, quanto de procedimentos.

Vale ressaltar que os episódios históricos aqui mencionados para exemplificar os tipos de descobertas (*de um X, de X, daquele X e de X como Y*) e categorias de descobertas (*pluzze-*

out, subsume and reticulate, trip-over e back-into) elencadas por Hanson, não se limitam apenas a essas descrições. Em seu trabalho, Hanson ainda fala sobre outros tipos de descobertas, que não serão aqui exemplificadas: descoberta de como X (no sentido de como gerar algum fenômeno), se X (se as condições podem gerar algum fenômeno) e possibilidade de X (se algum fenômeno poderia ser gerado dado as condições existentes) (Hanson, 1967).

Mediante as reflexões de Hanson que foram apresentadas e das discussões sobre descobertas exemplificadas a partir de episódios históricos, notabiliza-se a relevância de estudos históricos e filosóficos acerca de descobertas científicas. Resgates dessa natureza, podem evidenciar uma imagem mais próxima da prática científica. Além disso, propiciam reflexões sobre a Natureza da Ciência, que é histórica, cultural, social, filosófica, epistemológica; essas análises simultâneas e não dicotômicas possibilitam observar, ao mesmo tempo, a grandiosidade do empreendimento científico e a sua raiz humana, que nem por isso o diminui, muito pelo contrário⁵⁰.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das reflexões feitas ao longo deste trabalho, dos escritos de Kuhn e das categorias e tipos de descobertas científicas elencadas por Hanson, torna-se evidente o porquê de narrativas simplistas de descobertas — como a da maçã de Newton e o sonho de Mendeleev, trazidas na introdução — serem inadequadas perante a moderna filosofia e historiografia da ciência.

Livros didáticos e manuais científicos muitas vezes apresentam uma reconstrução da ciência que a torna acrítica, a-histórica e linear (Peduzzi; Raicik, 2020). Nessas reconstruções, as descobertas são representadas como meras informações específicas de quando, onde e quem as realizou; como um lampejo ou *insight*. Isso propicia uma visão inadequada de ciência, podendo implicar na crença de gênios isolados, ciência neutra e independente de seu contexto, existência do (no sentido de um único) método científico, entre outros. Por isso, há algumas décadas a literatura de educação científica vem apontando para a necessidade de um ensino-aprendizagem cada vez mais contextual (Matthews, 1995; Peduzzi, 2001; Forato; Martins; Pietrocola, 2011; Damasio; Peduzzi, 2018), que possa ajudar os alunos a

⁵⁰Um exemplo disso é o comentário feito por Weeks (1956) acerca do trabalho de Peters sobre as análises das cartas. Ela salienta que foi a partir dos trabalhos desse historiador que o primeiro nome de Brand (Hennig) apareceu nos estudos sobre o fósforo. Também foi a partir das cartas que surgiu o Brand como pesquisador humano; até então ele era descrito quase como uma figura sobre humana, sem subjetividades ou percalços em suas pesquisas. Essa aproximação com fontes históricas e a reflexão sobre os conteúdos encontrados são uma forma de auxiliar no processo de humanização das ciências.

identificarem como anedotas científicas episódios como o da torre de Pisa, envolvendo Galileu, ou o Sonho de Mendeleev.

A partir das discussões desenvolvidas, faz-se pertinente questionar “que reflexões podem ser feitas a partir das noções de descoberta científica de Norwood Hanson e Thomas Kuhn articuladas a episódios históricos que permeiam os estudos dos elementos químicos e da Lei Periódica” e também “Como isso pode contribuir para a Educação Científica?”. A inserção e discussão de aspectos de natureza da ciência — estrutura de descobertas científicas, ciência como conhecimento contextual, empreendimento científico não neutro, inseparabilidade dos contextos da descoberta e da justificativa etc — podem ser feitas a partir da história da ciência (Raicik; Peduzzi, 2016; Peduzzi; Raicik, 2020). Essa articulação pode promover um entendimento mais amplo de ciência, como parte integrante da história da própria humanidade. Em tempos sombrios de negacionismo científico, tornam-se centrais discussões que problematizem a ciência, que procurem vê-la e entendê-la em sua completude e que se façam conhecer suas práticas. Parafraseando Hanson (1967), um conceito que não é explorado, analisado, discutido é um conceito desconhecido. Em alguns casos o negar a ciência vem do desconhecimento do próprio funcionamento do empreendimento científico. Por isso, abordagens que ampliem as discussões para além dos produtos da ciência são tão importantes. Neste trabalho, por exemplo, foram proporcionados alguns exemplos de como abordar as questões relacionadas às descobertas, aos elementos químicos e à Tabela Periódica de Mendeleev de uma forma contextualizada e filosoficamente fundamentada.

Os exemplos trazidos sinalizam possíveis discussões nesse sentido, mas que precisam ser devidamente aprofundados, conceitual, histórica e epistemologicamente, algo não passível em poucas páginas. Devido à complexidade estrutural de uma descoberta científica, e o rigor que se deve ter no uso didático da história da ciência, cada caso precisa ser analisado com as minúcias que requer.

Para finalizar, importa ressaltar que “a compreensão de uma descoberta científica ultrapassa a reconstrução lógica da investigação científica. O seu entendimento demanda uma abordagem integrada entre história e filosofia da ciência” (Raicik; Peduzzi, 2016, p. 170). Isso implica a necessária formação, ainda na licenciatura, para realizarem tais discussões com seus alunos, já que grande parte dos livros didáticos não as fazem e ainda carregam visões inadequadas de ciência. Essa preparação do docente se torna ainda mais importante quando se averigua que no momento em que ele se isenta de tais discussões, estando consciente disso ou não, também carrega uma visão epistemológica que certamente influenciará no entendimento

de ciência de seu aluno.

REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, p. 179-185, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9>.

BACHELARD, G. **Pluralismo coerente da química moderna**. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

BRITO, A.; RODRIGUEZ, M. A.; NIAZ, M. A. reconstruction of development of the periodic table based on history and philosophy of science and its implications for general chemistry textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 1, p. 84-111, 2005. <https://doi.org/10.1002/tea.20044>.

BENSAUDE-VINCENT, B. Mendeleev's periodic system of chemical elements. **The British Journal for the History of Science**, v. 19, p. 3-17, 1986. <https://doi.org/10.1017/S000708740002272X>.

BROOKS, N. M. Developing the periodic law: Mendeleev's work during 1869-1871. **Foundations of Chemistry**, v. 4, n. 2, p. 127-147, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1016022129746>.

CHANDRASEKHAR, S. The Nebulium Emission in Planetary Nebulae. **Zeitschrift fur Astrophysik**, v. 10, p. 36-39, 1935.

CHAPMAN, K. The oganesson odyssey. **Nature Chemistry**, v. 10, n. 7, p. 796-796, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41557-018-0098-4>.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 473-514, 2010. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2010v27n3p473>.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. Para que ensinar ciência no século XXI? - Reflexões a partir da Filosofia de Feyerabend e do ensino subversivo para uma Aprendizagem Significativa Crítica. **Ensaio**, v. 20, e2951, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21172018200114>.

FORATO, T. C. M., PIETROCOLA, M., MARTINS, R. A. Historiografia e Natureza da Ciência em sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>.

GARCIA, R. A. A encruzilhada da Tabela Periódica. **Revista Fapesp**, v. 277, p. 60-63, 2019.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>.

GORDIN, M. **A Well-ordered thing**: Dmitrii Mendeleev and the shadow of the Periodic Table. New Jersey: Princeton University Press, 2019.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64, n. 11, p. 321-352, 1967. <https://doi.org/10.2307/2024301>.

HOYNINGEN-HUENE, P. Context of discovery versus context of justification and Thomas Kuhn. *In*: SCHICKORE, J.; STEINLE, F. **Revisiting discovery and justification**: Historical and philosophical perspectives on the context distinction, Springer, p. 119-131, 2006.

KAJI, M. Mendeleev's discovery of the periodic law: the origin and the reception. **Foundations of Chemistry**, v. 5, n. 1, p. 189-214, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1025673206850>.

KELLER, V. Hermetic Atomism: Christian Adolph Balduin (1632–1682), Aurum Aurae, and the 1674 Phosphor. **Ambix**, v. 61, n. 4, p. 366-384, 2014. <https://doi.org/10.1179/1745823414Y.0000000003>

KIPNIS, N. Chance in Science: the discovery of Electromagnetism by HC Oersted. **Science & Education**, v. 14, n. 1, p. 1-28, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11191-004-3286-0>.

KRAGH, H. The Solar Element: A Reconsideration of Helium's Early History. **Annals of Science**, v. 66, n. 2, 157-182, 2009. <https://doi.org/10.1080/00033790902741633>.

KRAGH, H. Controversial elements: priority disputes and the discovery of chemical elements. **Substantia**, v. 66, n. 2, p. 79-90, 2019. <http://dx.doi.org/10.1080/00033790902741633>.

KUHN, T. S. **A tensão essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

KWOK, S. Unexplained spectral phenomena in the interstellar medium: an introduction. **Astrophysics Space Science**, v. 366, n. 7, p. 1-4, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10509-021-03974-y>.

MAAR, J. H. **Pequena História da Química**. 1. ed. Florianópolis: Papa Livros, 1999.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. esp, p. 27-45, 1990.

MARTINS, R. A. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. *In: SILVA, C. C. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.* São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 167-189, 2006.

MARTINS, R. 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.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MENDELÉEFF, D. *The Principles of Chemistry.* Londres; Nova Iorque: Longmans, Green, and Co, 1891.

MENDELEEV, D. The relation between the properties and atomic weights of the elements. *Journal of the Russian Chemical Society*, v. 1, 1869⁵¹.

MOORE, R. B. Helium: its history, properties, and commercial development. *Journal of the Franklin Institute*, v. 191, n. 2, p. 145-197, 1921

NEVES, D. R. M. *et al.* Debates, contextos e lacunas no desenvolvimento coletivo da teoria sobre raios catódicos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 38, n. 3, p. 1619-1649, 2021. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e80515>.

NICHOLSON, J. W. (1911). The Spectrum of Nebulium. *Royal Astronomical Society*, v. 72, p. 49-64, 1911.

OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. *Química Nova*, v. 32, n. 4, 1072-1082, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000400043>.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr.** Publicação interna. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2019 (revisado em julho de 2019).

PEDUZZI, L. O. Q.; RAÍCIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>.

PIRES, L. N.; PEDUZZI, L. O. Q. Little Green Men: O Episódio de Detecção dos Pulsares e o Protagonismo de Jocelyn Bell Burnell. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 27, n. 1, p. 108-136, 2022. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p108>.

⁵¹ Менделѣва, Д. Соотношеніе свойствѣ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ. ЖУРНАЛЫ РУССКАГО ХИМИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА, ТОМЪ. I, 1869.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 18, n. 1, p. 132-146, 2015. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v8i1.173>

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. A estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica: reflexões para o ensino de ciências. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 2, p. 149-176, 2016. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2016v9n2p149>.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em ensino de Ciências**, v. 13, n. 1, p. 42-62, 2018.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica**: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2019.

RAICIK, A. C.; ANGOTTI, J. A. P. A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 331-349, 2019. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v12n1p331>.

RAICIK, A. C.; GONÇALVES, F. P. O debate Perrin-Donovan e a revolução química de Lavoisier: reflexões kuhnianas e implicações no ensino de ciências/química. **Em Construção**, v. 11, p. 15-27, 2022. <https://doi.org/10.12957/emconstrucao.2022.61229>.

REICHENBACH, H. **Experience and Prediction**. 1. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1938.

ROBINSON, K. **Spectroscopy: the key to the stars**. Nova Iorque: Springer, 2007.

SCERRI, E.; WORRALL, J. Prediction and the Periodic Table. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 32, n. 3, p. 407-452, 2009. [https://doi.org/10.1016/S0039-3681\(01\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(01)00023-1).

SILVERIA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 26-52, 2006. <http://hdl.handle.net/10183/85067>

WEEKS, M. E. **Discovery of the elements**. 6. ed. Easton: Mack Printing Company., 1956.

6 UMA UEPS SOBRE A TABELA PERIÓDICA DE DMITRI IVANOVICH MENDELEEV: POTENCIALIDADES DIDÁTICAS DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA E DE ASPECTOS DE NATUREZA DA CIÊNCIA NO ÂMBITO DA GRADUAÇÃO EM FÍSICA E QUÍMICA

Resumo: A partir de um episódio particular envolvendo o desenvolvimento histórico-epistemológico da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907), este artigo apresenta uma unidade de ensino potencialmente significativa ancorada nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) com base em uma historiografia contemporânea. Para tanto, além de explicitar as condições necessárias para que uma aprendizagem significativa possa ocorrer na perspectiva ausubeliana, serão resgatados alguns princípios da TAS, como a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa e a organização sequencial. Além disso, será apresentado o desenvolvimento de uma UEPS específica, voltada a licenciandos e bacharelados de física e química acerca de considerações históricas e epistemológicas envolvidas na gênese da Tabela Periódica, que envolve, por certo, distintos aspectos relativos à NdC e outros estudiosos além de Mendeleev.

Palavras-chave: Tabela Periódica; UEPS; Aprendizagem Significativa; História da Ciência; Natureza da Ciência.

6.1 INTRODUÇÃO

A defesa em favor da utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de ciências, em diferentes níveis, é de longa data no cenário educacional (Matthews, 1995; Teixeira; Greca; Freire, 2012; Teixiera, 2010; Peduzzi, 2001; Forato; Pietrocola; Martins, 2011). O entendimento de como a ciência é construída, como se dá o processo de desenvolvimento de novos conhecimentos, que valores estão envolvidos na aceitação de novas teorias, que estruturas conceituais, epistemológicas e ontológicas subsidiam e subjazem as descobertas científicas, podem ser promovidas a partir da HFC. Além disso, como se defende, ela pode contribuir para uma melhor compreensão conceitual, envolver o estudante com a sua cultural geral e científica, instigar o desenvolvimento de novas metodologias, promover uma maior participação dos alunos nas aulas, auxiliar na aprendizagem significativa de equações e resolução de problemas.

Um ensino contextualizado histórica e epistemologicamente pode viabilizar, inclusive, discussões sobre aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC). De modo geral, sem que se busque uma definição, pode-se dizer que a NdC “envolve um arcabouço de saberes sobre as bases epistemológicas, filosóficas, históricas e culturais da ciência”. Isto é, refletir, problematizar, “compreender a natureza da ciência significa saber do que ela [a ciência] é feita, como elaborá-la, o que e por que ela influencia e é influenciada” (Moura, 2014, p. 33).

Episódios históricos, por exemplo, podem ser ótimos proponentes para problematizações de asserções relativas à NdC e do trabalho científico. Quando resgatados a partir de uma historiografia contemporânea, podem ilustrar e fomentar reflexões sobre distintas questões, até mesmo da atualidade. Compreender o passado, valorizando as suas conquistas, entendendo os seus problemas e as soluções que encontra, ajuda a traçar um conjunto de acontecimentos que facilita a compreensão do presente.

Não obstante, a implementação didática da HFC associada à discussões *sobre* ciência na educação está longe de ser trivial. O certo é que, recortes seletivos, meramente cronológicos, acríticos, centrados em nomes e datas, típicos de uma história *whig*, limitam e distorcem a realidade de uma história feita por humanos, com acertos e erros, sucessos e insucessos. Assim como a quasi-história, uma história falsificada, com aspecto de história genuína, para um fim específico — didático, ideológico etc. (Whitaker, 1979) e a pseudo-história uma história simplificada, desfigurada, cheia de omissões (Matthews, 1995), esses arremedos de história não podem fazer parte de um ensino de qualidade.

Princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (1918-2008) podem contribuir para o desenvolvimento de materiais e estratégias didáticas, quando alinhados, por exemplo, com referenciais historiográficos, epistemológicos e metodológicos de uma pesquisa. Em termos gerais, trata-se de uma teoria cognitivista e construtivista que facilita o entendimento de como a estrutura cognitiva de um sujeito interage com um novo conhecimento.

Na TAS de Ausubel, um dos fatores mais importantes para a ocorrência de uma aprendizagem significativa é o conhecimento prévio do aprendiz. É a partir dele que um novo conhecimento deve ser mediado, ancorado e, através de uma estrutura organizacional (que permita uma hierarquização de conceitos e uma alternância entre ideias mais gerais e mais particulares, entre o todo e o pontual), tomar novos significados (Paulo; Souza, 2011). Além disso, outro fator essencial, de acordo com Ausubel, é o material potencialmente significativo.

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), desenvolvidas por Marco Antonio Moreira (1940-), são sequências didáticas fundamentadas sobretudo (mas não somente) na TAS de Ausubel. As UEPS possibilitam o desenvolvimento de propostas didáticas e estímulos à pesquisa aplicada, voltadas para uma aprendizagem significativa e não mecânica. Assim, elas podem se mostrar como um referencial metodológico, da própria TAS, profícuo e coerente com uma abordagem da HFC e da NdC, pautadas em uma historiografia e filosofia contemporâneas (Moreira, 2004; 2011; 2012).

À luz do exposto, a partir de um episódio particular envolvendo o desenvolvimento histórico-epistemológico da tabela periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907), este artigo apresenta uma unidade de ensino potencialmente significativa ancorada nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) com base em uma historiografia contemporânea. Para tanto, além de explicitar as condições necessárias para que uma aprendizagem significativa possa ocorrer na perspectiva ausubeliana, serão resgatados alguns princípios da TAS, como a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa e a organização sequencial. Além disso, será apresentado o desenvolvimento de uma UEPS específica, voltada a licenciandos e bacharelados de física e química acerca de considerações históricas e epistemológicas presentes na gênese da Tabela Periódica, que envolve, por certo, distintos aspectos relativos à NdC e outros estudiosos além de Mendeleev.

A Tabela Periódica é um constructo teórico bastante conhecido pelos estudantes, já que faz parte do currículo da educação básica brasileira. Contudo, não é comum que se conheça a história de sua construção e o contexto histórico em que surgiu. O fato de que a maioria das pessoas conhece, mesmo que superficialmente, sua estrutura, ou narrativas como a do “sonho de Mendeleev”, representa um importante fator para que se invista em uma aprendizagem significativa de sua história.

6.2 PRINCÍPIOS DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL: UM REFERENCIAL EDUCACIONAL

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), desenvolvida pelo psicólogo cognitivista David Ausubel (1918-2008), auxilia na compreensão de como um novo conhecimento será acomodado na estrutura cognitiva de um sujeito de forma significativa. Ela argumenta que a aprendizagem significativa ocorre quando há interação (e não uma mera

associação) entre novas informações e aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva do sujeito (Moreira; Masini, 2009).

Nessa interação, na qual a relação é não-literal e não-arbitrária, o novo conhecimento interage com uma estrutura de conhecimento específica. Esses conhecimentos específicos, que podem servir para ancorar um novo, são chamados de subsunçores ou ideias âncoras. Em outras palavras, um subsunçor pode ser uma ideia, um conceito, uma proposição, uma informação, já existente na estrutura cognitiva do indivíduo, que serve de “ancoradouro” para que a nova informação tome significado (Moreira; Ostermann, 1999). No âmbito do episódio histórico do desenvolvimento da Tabela Periódica de Mendeleev, por exemplo, a própria noção equivocada de que ela teria sido “descoberta”, simples e livre de pressupostos, a partir de um sonho, no qual a ideia de “descobrir” é utilizada como sinônimo de uma mera observação, um *insight*, um palpite, uma intuição, sem que tenha uma estrutura relevante, pode ser considerada um subsunçor que serve de “ancoradouro” para que a nova informação ganhe significado.

Essa necessidade em relacionar um novo conhecimento àquele já existente aponta para uma das ideias centrais da TAS: o conhecimento prévio do sujeito. O próprio Ausubel argumentou que, caso “tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos” (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. viii).

Dessa forma, a aprendizagem significativa demanda uma interação específica entre os subsunçores já existentes e a nova informação, abrangendo conceitos, concepções, proposições, representações, etc. “Os subsunçores podem ter maior ou menor estabilidade cognitiva, podem estar mais ou menos diferenciados, ou seja, mais ou menos elaborados em termos de significados” (Moreira, 2011a, p. 14).

Quando os subsunçores são inadequados, isto é, não são sólidos o suficiente, é recomendado que se utilize organizadores prévios. Ausubel (2003) argumenta que esse recurso pedagógico deve ser apresentado em “um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que os novos materiais a serem aprendidos” (p. 11). Dessa forma, os organizadores prévios têm por principal função “preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa com que se defronta” (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 144).

Nesse sentido, quando o sujeito não possui nenhum subsunçor para determinado tipo de conteúdo, pode-se fazer o uso de um organizador expositivo, que serve como um preparador da estrutura cognitiva, criando, a partir do que o sujeito já sabe, um caminho ideacional até o novo conhecimento. Não obstante, quando os estudantes já possuem certa familiaridade com os saberes em questão, mas os subsunçores são, por algum motivo, considerados inadequados, utiliza-se os organizadores prévios comparativos. Esses, auxiliarão na diferenciação e na associação do novo conhecimento com aqueles já existentes, que são semelhantes ou conflitantes (Moreira, 2012). Por exemplo, a Tabela Periódica atual poderia servir como um organizador prévio comparativo para a realização de discussões histórico-epistemológicas sobre a Tabela Periódica de Mendeleev, partindo de questionamentos sobre o seu formato, a adição dos elementos em sua estrutura, sistematizações anteriores a de Mendeleev, entre outros aspectos.

Além do conhecimento prévio do sujeito, existem outros dois fatores que são centrais para que uma aprendizagem significativa possa acontecer. O primeiro deles é que o indivíduo deve estar predisposto a aprender. Ele precisa estar disposto a construir o conhecimento de forma ativa, interagir, modificar e ser modificado pelo novo conhecimento. Isso não significa, necessariamente, que ele deva gostar e se entusiasmar com a proposta de aula, mas estar ciente de que seu processo de aprendizagem não pode ser passivo, o que implica no seu empenho em aprender e relacionar o novo conhecimento (Moreira; Masini, 2009). O segundo fator é que o material utilizado precisa ser potencialmente significativo, isto é, ele deve ser organizado de forma relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz (Paulo, 2006). Enaltece-se que o material é *potencialmente* significativo, e não necessariamente significativo, já que quem dá o significado a ele é o sujeito aprendiz e não o educador. Esse material necessita levar em consideração os conhecimentos prévios do sujeito e apresentar uma organização sequencial que respeite a construção de conceitos pela estrutura cognitiva (Moreira, 2012).

A organização sequencial, junto à diferenciação progressiva e à reconciliação integrativa são alguns dos princípios da TAS. A diferenciação progressiva é um princípio que recomenda que conceitos mais gerais sejam apresentados antes daqueles mais específicos, pois se reconhece que há uma sequência hierárquica em termos de abstração, generalidade e inclusão no processo de aprendizagem (Paulo; Souza, 2011). Isso porque, em geral, torna-se mais fácil para os processos da estrutura cognitiva do sujeito compreender uma ideia específica partindo-se, inicialmente, de um todo mais inclusivo e geral, para então, progressivamente, apresentar aqueles menos inclusivos e mais diferenciados.

O princípio de reconciliação integrativa, por sua vez, sugere que aqueles conceitos e ideias apresentadas sejam revisitadas explicitamente ao se explorar, por exemplo, suas relações de similaridade e diferença com aqueles subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito (Ausubel, 2003). É um processo de “vai e vem” entre ideias mais gerais e inclusivas às mais específicas (Raicik, 2019). Como a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa acontecem ao mesmo tempo, é importante que o material desenvolvido ou a sequência didática estejam organizados de modo que facilite ao aluno desempenhar essas duas funções (Paulo; Souza, 2011).

Já a organização sequencial é um princípio que tem como um de seus principais aspectos a classificação e organização de conceitos a partir da hierarquia de complexidade (Moreira; Masini, 2009). Para que a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa possam ocorrer de maneira intencional, buscando uma significação, o conteúdo deve ser organizado pensando na hierarquia de complexidade dos conceitos e nas diferentes formas de abordá-lo.

Também a consolidação é um princípio importante da TAS, que pode ser mobilizado quando o que está sendo estudado precisa estar consolidado antes que novos conhecimentos sejam trabalhados com os aprendizes. Diferentes estratégias didáticas podem ser utilizadas para buscar a consolidação, tais como revisões, atividades em que os alunos tenham a chance de rever suas respostas ao longo das aulas, momentos de externalização de significados, entre outros. Esse princípio se relaciona com a relevância conferida por Ausubel aos conhecimentos prévios do aprendiz, no sentido de que as informações consolidadas representam um conhecimento prévio para aquele que será construído futuramente (Raicik, 2019).

As UEPS podem auxiliar no desenvolvimento de materiais potencialmente significativos, uma vez que são fundamentadas na TAS, mas não somente nele, e visam uma aprendizagem significativa e não mecânica. Ademais, como a literatura vem defendendo e propondo, ela pode ser utilizada como aspecto metodológico da própria TAS (Damasio, 2017; Raicik, 2019).

6.3 AS UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS DE MOREIRA

As UEPS são unidades didáticas, fundamentadas teoricamente em teorias de aprendizagem, que têm como objetivo facilitar a aprendizagem significativa. Elas podem ser

vistas, portanto, como um instrumento didático e um fomentador de materiais potencialmente significativos (Moreira, 2011b).

Além de as UEPS estarem ancoradas, sobretudo, na TAS de Ausubel, Moreira (2011b) enfatiza que elas também são baseadas nas teorias da educação de Joseph D. Novak e de D.B. Gowin, na teoria interacionista social de Lev Vygotsky, na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, na teoria dos modelos mentais de Philip Johnson-Laird, e, inclusive, na própria teoria da aprendizagem significativa crítica, que ele mesmo desenvolveu.

Em suma,

Essas Unidades levam em consideração os principais pressupostos ausubelianos, a saber, o conhecimento prévio do aluno, os organizadores prévios, os princípios de diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial, consolidação. Além disso, situações-problema, negociação e captação de significados, busca de evidências de aprendizagem em uma perspectiva de progressividade e complexidade são também norteadores dessas unidades” (Raíck, 2019).

Nesse sentido, Moreira (2011; 2013) apresenta alguns princípios norteadores do desenvolvimento dessas sequências didáticas. Reconhecer a importância dos conhecimentos prévios do aprendiz como o fator que mais afeta a aprendizagem; considerar que o estudante combina pensamentos, sentimentos e ações; avaliar e valorizar os organizadores prévios; levar em conta as situações-problemas que auxiliam na significação dos novos conhecimentos; respeitar os princípios de diferenciação progressiva, reconciliação integrativa e consolidação na organização do ensino, são alguns deles. Além disso, o autor sinaliza a importância de compreender que a avaliação de indícios de aprendizagem significativa é progressiva e requer a busca por evidências ao longo de todo processo didático; o professor, nesse caso, desempenha um papel crucial ao propor situações-problemas de forma adequada, organizando a sequência do ensino e mediando a compreensão de significados pelo aluno. Ademais, concordar que o ensino deve ser dialógico e interativo, aceitando que ensinar envolve uma relação entre aluno, professor e material didático, conceber que a aprendizagem não deve ser mecânica, mas sim buscar questionamentos e respostas que não se baseiem apenas na memorização, utilizando uma variedade de materiais e estratégias de ensino, são outros dos eixos fundamentais dessas unidades.

No âmbito da organização sequencial das unidades, torna-se importante: i) definir o tópico específico que será tema da UEPS, isto é, o conteúdo que deverá ser ensinado e o objetivo da unidade; ii) criar situações que provoquem os estudantes a externalizarem seus

conhecimentos prévios supostamente relevantes para a aprendizagem significativa dos conceitos e ideias que se pretende trabalhar; iii) propor uma situação-problema a nível bastante introdutório para apresentar o conteúdo, situação que pode servir como um organizador prévio; iv) explicitar tópicos do conhecimento de forma mais geral, dando uma visão do todo, com aspectos mais inclusivos, a partir do princípio da diferenciação progressiva; v) apresentar, em um nível maior de complexidade, o conhecimento a ser aprendido, a partir de novas situações-problema. À luz da reconciliação integrativa, pode-se promover o destaque de semelhanças e diferenças entre aquilo que agora está sendo trabalhado de forma mais específica, com o que, anteriormente, foi tratado de forma mais inclusiva; vi) visando concluir a unidade, o professor pode fomentar a diferenciação progressiva em concomitância à reconciliação integrativa, retomando ideias mais relevantes do conteúdo. Novas situações-problema podem ser propostas, em nível mais alto de complexidade; vii) realizar uma avaliação somativa ao final da UEPS, trazendo questões-situações que contribuam para avaliação do processo de aprendizagem; cabe ressaltar, que a avaliação da aprendizagem é feita ao longo do desenvolvimento da UEPS, com registros que reúnam indícios de uma aprendizagem significativa (Moreira, 2011; 2013).

Esses aspectos sequenciais não são prescritivos, mas norteadores da elaboração de uma UEPS. É importante, nessa fundamentação, que as abordagens pedagógicas sejam diversificadas, assim como os materiais utilizados; isso ajudará a possibilitar uma diferenciação progressiva e reconciliação integrativa do tema, a predisposição em aprender do estudante. O diálogo e as discussões são centrais para UEPS.

6.4 A UEPS: *ELEMENTOS* DE CONSTRUÇÃO DA TABELA PERIÓDICA DE DMITRI I. MENDELEEV

A UEPS “*Elementos* de construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev” tem por objetivo apresentar um resgate histórico-epistemológico da gênese do desenvolvimento da Tabela Periódica de Mendeleev, explorando distintos aspectos relativos à NdC. Para isso, e partindo da problematização de narrativa simplista do suposto ‘sonho de Mendeleev’, sumariza algumas visões de elemento que estiveram presentes na Grécia Antiga e influenciaram a alquimia árabo-europeia na Idade Média. Incluindo debates sobre uma visão mágico-vitalista, especialmente a partir do Renascimento, contextualiza uma compreensão da matéria naquele período e no século XVII. Tendo em vista o processo de diferenciação

progressiva, aborda algumas interpretações sobre elementos partindo da “ciência moderna” até o início do século XIX, visando fundamentar e criar condições para apresentar as primeiras sistematizações de elementos no século XIX. A partir da diferenciação e da reconciliação integrativa, discute de que forma conceitos como o de elementos, substância, compostos levaram, sobremaneira, à organização do primeiro Congresso Internacional de Química, o Congresso de Karlsruhe. Posteriormente, em nível mais alto de abstração e complexidade, resgata a tabela mendeleeviana e a Lei Periódica, relacionando-a com sistematizações anteriores e correlacionando-a com a própria noção de ‘descoberta’ científica. Ademais, apresenta Mendeleev não apenas como o estudioso formulador de uma das sistematizações dos elementos, mas como um ser humano, com alguns aspectos de sua vida pessoal e acadêmica.

UEPS

Título: *Elementos* de construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev.

Objetivo Geral: Apresentar um resgate histórico-epistemológico da gênese do desenvolvimento da Tabela Periódica de Mendeleev, explorando distintos aspectos relativos à NdC.

Conceitos Centrais: Concepções de elemento; Tabela Periódica; Classificação de elementos químicos; Lei Periódica; Descobertas Científicas.

Público-alvo: Licenciandos e bacharelandos em química e física.

Disciplina: Uma disciplina que aborde aspectos da história e/ou epistemologia da ciência, ou um curso de extensão universitário, ou uma oficina.

Duração: 10 aulas de 2 créditos.

Constituintes da UEPS: A UEPS é constituída por sete artigos, um vídeo de divulgação científica, slides, atividade colaborativa, avaliação somativa.

O artigo “‘O Sonho de Mendeleiev’ e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência” (Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022) analisa trechos de um livro de divulgação científica acerca do

suposto ‘sonho de Mendeleev’ à luz de aspectos relativos à NdC.

O artigo “Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024a) apresenta um sucinto resgate histórico-epistemológico de alguns entendimentos de elemento que estiveram presentes desde concepções de matéria dos Gregos antigos, e que permearam a alquimia árabo-europeia na Idade Média, às discussões acerca de uma visão mágico-vitalista.

O artigo “Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século XIX” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024b) descreve e discute concepções de elementos desde o século XVII a meados do século XIX.

O artigo “Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024c) apresenta algumas sistematizações do século XIX, como as de Johann W. Döbereiner (1780-1849), Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886), John A. R. Newlands (1837-1898), Julius Lothar Meyer (1830-1895), que foram importantes para o entendimento da relação entre os elementos e suas propriedades físico-químicas. Evidencia alguns embates surgidos nesse período em razão de diferentes vertentes filosóficas e procedimentais adotadas por estudiosos e perpassa pelo importante Congresso de Karlsruhe.

O artigo “*Elementos* histórico-epistemológicos envolvidos na construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024d) traz um olhar histórico-epistemológico da Tabela Periódica de Mendeleev, partindo da polêmica envolvida em seu suposto “sonho”, comumente disseminado, sobretudo no ensino. Enaltece, ainda, pequenos recortes biográficos do químico que, junto ao resgate histórico desse episódio, propicia trazer à tona distintos aspectos sobre a ciência.

O artigo “Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir

de Norwood Hanson e Thomas Kuhn” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2023) promove discussões centradas em episódios históricos ligados a elementos químicos e à Lei periódica, a partir de noções de Norwood Hanson e Thomas Kuhn, com o intuito de contextualizar a estrutura conceitual e epistemológica de descobertas científicas.

Trechos do artigo “Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência” (Peduzzi; Raicik, 2020), apresentam asserções comentadas sobre aspectos de NdC, abordando suas sobreposições, convergências e divergências como uma alternativa potencialmente útil para a abordagem de vários aspectos da NdC e da prática científica no ensino.

O vídeo “Mendeleev e o sonho da Tabela Periódica: um convite à reflexão” (IFScience, 2021) aborda, sucintamente, aspectos históricos e relativos à NdC presentes em narrativas sobre a construção da Tabela Periódica de Mendeleev. Nele, são questionadas as “histórias” simplistas que reduzem o processo de descoberta da Lei Periódica a um “sonho de Mendeleev”.

A avaliação terá duas principais frentes: a primeira, consistindo em uma transposição didática para o Ensino Médio, formará 70% da nota; a segunda, somando 30%, será feita a partir das externalizações de significados e da participação nas atividades propostas.

Sequência didática

Aulas 1 e 2

Situação inicial:

Como uma situação-inicial, cada aprendiz recebe uma cópia da última versão da Tabela Periódica disponível no site da União Internacional de Química Pura e Aplicada (conhecida como IUPAC, sigla em inglês). Solicita-se que eles escrevam no verso da folha aspectos gerais daquilo que sabem sobre a Tabela Periódica, tanto de um ponto de vista conceitual, quanto, e principalmente, histórico. Após o registro, propõe-se a realização de uma discussão oral coletiva com a turma, em que eles serão instigados a apresentar algumas de suas concepções. Os alunos podem enviar suas anotações para o professor.

Situação-problema inicial

Na situação-problema inicial, promove-se reflexões sobre a história da Tabela Periódica através de perguntas como: “Quando se fala em Tabela Periódica, normalmente, se pensa que ela foi descoberta por alguém, mas o que significa descobrir alguma coisa? Será que a Tabela Periódica foi descoberta, ou descoberta foi a Lei Periódica? Vocês já ouviram falar de Dmitri Mendeleev? E de Chancourtois, Newlands, Meyer? Ou quem sabe, do Parafuso Telúrico, da Lei das Tríades ou da Lei das Oitavas?”.

Depois disso, reproduz-se o vídeo de divulgação científica: “Mendeleev e o sonho da Tabela Periódica: um convite à reflexão”, que aborda, sucinta e brevemente, alguns aspectos do desenvolvimento da tabela periódica de Mendeleev e aspectos relativos à NdC. O vídeo serve como um organizador prévio. A seguir, a partir de uma discussão do vídeo, resgata-se algumas das questões levantadas anteriormente, traz-se outras, para os alunos refletirem até a próxima aula, como: vocês já ouviram falar de aspectos relativos à natureza da ciência? Para vocês, a ciência é coletiva? A ciência influencia e é influenciada por algo? As teorias científicas são definitivas?

Solicita-se, para a próxima aula, a leitura de trechos do artigo “Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência” (Peduzzi; Raicik, 2020), disponibilizado em cópia impressa para os alunos, ou em versão eletrônica.

Aulas 3 e 4

Aprofundamento do tema 1

Por meio de exposição oral, de slides e de trechos do artigo (Peduzzi; Raicik, 2020), com leitura prévia feita por eles, discute-se, por exemplo, que teorias não são definitivas e irrevogáveis, que concepções idiossincráticas dos cientistas influenciam na sua prática científica, assim como o contexto cultural a que eles estão inseridos, que o empreendimento científico é coletivo, que uma descoberta científica possui uma estrutura conceitual e epistemológica.

Situação-problema em nível mais alto de complexidade 1

Fomentam-se reflexões, agora em nível mais alto de complexidade, e já introduzindo um

outro conceito central da unidade, por exemplo: como podemos compreender e analisar as implicações envolvidas no conceito de elemento e de sua modificação ao longo dos séculos, uma vez que as teorias não são definitivas e irrevogáveis, não deixam de ser científicas porque foram substituídas por outras e estão em constante modificação? A influência do contexto cultural e pessoal de um cientista no desenvolvimento de suas pesquisas, ou seu coletivo, torna a ciência menos científica ou mais plural?

Os alunos devem refletir sobre essas (e outras) situações-problemas colocadas. Para a próxima aula, solicita-se que façam a leitura do artigo “Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024a), encaminhado eletronicamente aos mesmos.

Aulas 5 e 6

Aprofundamento do tema 2

Em um processo de diferenciação progressiva, introduz-se discussões sobre o texto de Lorenzetti, Raicik e Peduzzi (2024a). Tenciona-se introduzir considerações acerca do conceito de elemento, e como ele se modificou ao longo dos séculos. Para isso, resgata-se alguns entendimentos de elemento que estiveram presentes desde concepções dos Gregos antigos, e que permearam a alquimia árabo-europeia na Idade Média, assim como discussões acerca de uma visão mágico-vitalista, até o século XVI. Em um processo expositivo-dialogado, busca-se um contextualizar sobre como certas concepções de elemento foram desenvolvidas e modificadas ao longo do tempo, e como elas evidenciam não apenas uma maneira de compreender como os estudiosos estudavam e exploravam o mundo e entendiam a constituição das coisas, mas sobre suas convicções filosóficas mais profundas. À luz de uma reconciliação integrativa, fomenta-se vínculos com alguns aspectos relativos à NdC, como a coletividade do processo de construção de conhecimento científico, a influência das idiossincrasias dos estudiosos nas teorias e conceitos desenvolvidos, entre outros.

Ao final da aula, pede-se aos alunos que leiam para o próximo encontro o texto “Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século XIX” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024b).

Aulas 7 e 8

Situação-problema em um nível maior de complexidade 2

Antes de uma discussão expositiva-dialogada sobre o texto que os alunos leram previamente, propõe-se uma atividade colaborativa. Em grupos, eles são instigados a construir mapas mentais que problematizem e relacionem os dois últimos textos históricos lidos e um deles já discutidos em aula, à luz de uma nova situação-problema: “Os estudos sobre elementos só tiveram seu início no século XVI com a chamada ‘ciência moderna’?”.

Em seguida, a partir da pergunta proposta e, inclusive, problematizando alguns aspectos de NdC, faz-se uma discussão do artigo histórico vinculado aos mapas elaborados. A partir de um processo de diferenciação progressiva, evidencia-se algumas ponderações acerca de ideias de elemento que estiverem presentes a partir do século XVII até as primeiras décadas do século XIX, visando-se reconciliá-las com àquelas que permearam a ciência até o século XVI, e discutidas em aula anterior. Para isso, resgata-se brevemente perspectivas de estudos sobre a matéria como: a de Gassendi, a concepção de elemento desenvolvida por Boyle e suas incursões em defesa da filosofia corpuscular, por exemplo; a tabela de substâncias simples de Lavoisier, a concepção atomística de Dalton e os desenvolvimentos que vieram posteriormente.

Para a próxima aula, solicita-se aos alunos que leiam o texto “Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024c).

Aulas 9 e 10

Aprofundamento do tema 3

Primeiro, propõe-se aos alunos uma nova atividade colaborativa, em que registram aspectos de NdC que eles conseguiram identificar no artigo. Depois, em pequenos grupos, instiga-se que eles discutam quais aspectos selecionaram e justificar o porquê dessas escolhas, para só então realizar discussões no grande grupo. Essa atividade pode ajudar os aprendizes a criar autonomia no que se refere a discussões de NdC envolvendo episódios históricos; eles poderão aprender a explicitar e discutir esses aspectos. Além disso, promove, inclusive, uma reconciliação integrativa de um novo conceito central e aspectos relativos à natureza da

ciência. Em seguida, em nível ainda mais alto de complexidade, evidencia-se a busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas no século XIX. Visando enaltecer a coletividade na ciência e que o conhecimento não parte do nada, resgata-se sucintamente classificações como a de Johann W. Döbereiner e a sua Lei das Tríades, a de Alexandre E. B. de Chancourtois e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands e a sua Lei das Oitavas, reconciliando esse percurso histórico com aspectos relativos à NdC. Além disso, esse período, sobretudo vinculado ao Congresso de Karlsruhe, permite compreender a relevância das discussões relacionadas aos procedimentos de determinação do peso atômico, da nomenclatura dos elementos, dos dissensos linguísticos e conceituais relativos a átomos, moléculas, substâncias, entre outros, que permearam a comunidade científica naquele momento.

Para o próximo encontro, é disponibilizado para leitura o texto “*Elementos* histórico-epistemológicos envolvidos na construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024d).

Aulas 11 e 12

Aprofundamento do tema 4

Primeiramente, a folha entregue aos alunos na primeira aula — Tabela Periódica impressa — é resgatada. Os aprendizes, então, têm um momento para ler seus registros passados e refletir sobre o que mudou (ou não) acerca do que sabiam sobre a Tabela Periódica e sua história. Eles são encorajados a analisar criticamente o que haviam escrito e fazer novos registros, agora a partir do que leram e discutiram nas últimas aulas.

A seguir, propõe-se a realização de uma discussão expositiva-dialogada, junto às anotações dos alunos sobre o texto de Lorenzetti, Raicik e Peduzzi (2024d). Esse artigo faz uma discussão histórico-epistemológica sobre a construção da Tabela Periódica de Mendeleev. Visa-se, com isso, realizar uma nova reconciliação integrativa com aspectos de NdC, discutindo a influência do contexto de Mendeleev para suas pesquisas, as subjetividades que são importantes para entender essa história, a construção não linear dos conhecimentos, entre outros. Em um novo processo de diferenciação progressiva em torno dos conceitos centrais da unidade, o artigo também traz breves análises de fontes primárias (um artigo e um manual científico) associadas à literatura secundária, que permite explicitar, mais uma vez, os

diferentes formatos da prática científica.

As situações-problema da aula 1 também devem ser retomadas — “Quando se fala em Tabela Periódica, normalmente, se pensa que ela foi descoberta por alguém, mas o que significa descobrir alguma coisa? Será que a Tabela Periódica foi descoberta, ou descoberta foi a Lei Periódica? Vocês já ouviram falar de Dmitri Mendeleev? E de Chancourtois, Newlands, Meyer? Ou quem sabe, do Parafuso Telúrico, da Lei das Tríades ou da Lei das Oitavas?”. Sugere-se que os aprendizes formem quatro grupos e discutam as perguntas entre si. Depois, cada grupo socializa seus apontamentos de uma das perguntas. Nesses momentos de trabalho em grupo, é de extrema importância que o professor fique atento aos aprendizes, tanto para captar certas externalizações de significados, quanto para ampará-los caso seja necessário. Em outras palavras, que ele seja um mediador em sala.

Pede-se que os alunos leiam o texto “Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn” (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2023) para o próximo encontro.

Aulas 13 e 14

Aprofundamento do tema 5

O encontro tem início com uma exposição sobre descobertas científicas, utilizando slides, a partir dos textos originais de Norwood Hanson (1967) e Thomas Kuhn (2011; 2018), aprofundando algumas questões e tirando eventuais dúvidas que ficaram a partir da leitura. A fim de promover uma diferenciação progressiva em nível mais alto de complexidade, e estabelecer uma reconciliação integrativa do conceito central de descoberta científica, discorre-se sobre os exemplos citados no artigo que focam, sobremaneira, naqueles discutidos ao longo das aulas anteriores, sobre a lei periódica, a descoberta de alguns elementos químicos, a própria tabela periódica de Mendeleev e outros exemplos históricos.

Depois, promove-se mais uma atividade em grupo, na qual os alunos são instigados a apresentar à turma os episódios históricos abordados no artigo. Eles devem ser encorajados a mostrar como entenderam a relação entre o episódio histórico e as reflexões de Hanson e Kuhn. Sugere-se que seja realizado um sorteio para montar os grupos. Essa estratégia tem

como objetivo diversificar os grupos das últimas aulas, permitindo que diferentes aprendizes troquem entre si seus significados. É essencial que eles tenham um tempo para se organizar antes de realizarem a apresentação; se a turma for pouco numerosa, os grupos podem ficar com mais de um tema. Depois das apresentações, o docente pode reforçar os conceitos à luz dos exemplos e do texto da aula. Ademais, pode-se retomar novamente duas situação-problema da primeira aula, em mais um processo de reconciliação, agora em outro nível de complexidade: “Quando se fala em Tabela Periódica, normalmente, se pensa que ela foi descoberta por alguém, mas o que significa descobrir alguma coisa? Será que a Tabela Periódica foi descoberta, ou descoberta foi a Lei Periódica?”

É solicitado aos alunos que leiam para a próxima aula o artigo “‘O Sonho de Mendeleiev’ e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência” (Lorenzetti; Raicik; Damasio, 2022).

Aulas 15 e 16

O artigo Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022) analisa trechos de um livro de divulgação científica acerca do suposto “sonho de Mendeleev” à luz de aspectos relativos à NdC. Nesse sentido, primeiramente promove-se uma discussão com o grande grupo, buscando incentivar reflexões sobre as potencialidades de aspectos de NdC para realizar análises como a apresentada no texto que leram. O artigo tem a função de reconciliar diversos assuntos vistos ao longo da UEPS através de uma análise de trechos de um livro de Divulgação Científica — “O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química” de Paul Strathern (2002) — que fala sobre a Tabela Periódica de Mendeleev. Como os aprendizes já leram outros textos históricos, espera-se que tenham um aporte teórico suficiente para entender de forma mais ampla as relações feitas entre os episódios históricos, os trechos do livro e aspectos de NdC.

Posteriormente, é proposto aos alunos que se reúnam em pequenos grupos, para a análise de trechos de livros didáticos e/ou manuais científicos que falem sobre a história da Tabela Periódica, tanto de Mendeleev quanto de De Chancourtois, Newlands, Meyer. Com base nos textos já lidos e discutidos em aulas anteriores, solicita-se que realizem breves análises, pensando tanto na adequação histórica-epistemológica do que foi dito, como pensando em relações com aspectos de NdC. Depois disso, destina-se um tempo para que possam expor

aos colegas e ao docente as análises que fizeram.

Aulas 17 e 18

Essas aulas são reservadas para a organização e a orientação da avaliação somativa, que consiste em pensar na transposição didática de um dos artigos, ou de recortes de alguns deles, lidos ao longo da UEPS para o Ensino Médio. Os alunos devem produzir slides como material resultante da avaliação como forma de apresentar suas ideias, ou um documento com a sequência de aulas. Os aprendizes têm 2 semanas para a realização da tarefa. É sugerido que na aula da próxima semana, voltada à preparação dos materiais, o docente fique à disposição para eventuais auxílios e dúvidas que os aprendizes venham a apresentar.

Aulas 19 e 20

Apresentação pelos alunos, em sala de aula, das avaliações somativas por eles desenvolvidas.

Avaliação dos alunos após a implementação da UEPS

Sugere-se que o peso da avaliação somativa seja de 70% da nota final. O restante da nota poderá ser composto pelas outras atividades desenvolvidas pelos aprendizes ao longo da UEPS.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A UEPS apresentada neste artigo, através de uma abordagem que integra a HFC a aspectos de NdC, visa oferecer uma perspectiva viável para que educadores desenvolvam com seus estudantes discussões mais amplas, críticas e contextualizadas sobre o conhecimento científico; que vão além da mera apresentação dos produtos da ciência (Matthews, 1995; Moura, 2014), particularmente envolvidas na gênese e desenvolvimento da Tabela mendeleeviana.

Nesse sentido, a UEPS objetiva destacar não apenas os avanços teóricos e experimentais, mas também as controvérsias e as convergências que marcaram o desenvolvimento da Tabela Periódica de Mendeleev, perpassando, inclusive, por outras sistematizações como as de Döbereiner, De Chancourtois, Newlands, Meyer. Visa, também, evidenciar que as preocupações sobre do que a matéria é constituída estiveram presentes e

influenciaram diferentes esferas da sociedade ao longo dos séculos, como é o caso dos filósofos da Grécia Antiga, dos alquimistas árabo-europeus na Alta Idade Média e os espagiristas e mágico-vitalistas na Baixa Idade Média. A ideia de elemento, por exemplo, não foi desenvolvida por Robert Boyle, como é levado a entender muitas vezes; contudo, ele foi um importante estudioso no assunto e importa explorar de onde vieram as influências para suas pesquisas, tanto no que ele concordava quanto discordava, ambas fundamentais para o entendimento do contexto de seus estudos. Essa maneira de estruturar os saberes, pode facilitar a promoção de um ambiente de aprendizado mais dinâmico e reflexivo, onde os aprendizes podem relacionar o conteúdo científico com o processo histórico de construção do conhecimento (Forato; Pietrocola; Martins, 2011).

Voltada a graduandos de física e química, a unidade didática proposta na presente pesquisa, sobre o episódio histórico da tabela periódica de Mendeleev, explora as potencialidades didáticas da História e Filosofia da Ciência e de aspectos de Natureza da Ciência para esse público. Com efeito, é fundamental que futuros professores e bacharéis construam, para além dos saberes conceituais e técnicos da ciência, reflexões críticas sobre as bases epistemológicas que sustentam o conhecimento científico (Damasio; Peduzzi, 2017). Esse contato explícito com a HFC e a NdC auxilia no entendimento da ciência como um processo humano, carregado de tentativas, erros e descobertas progressivas, em vez de uma série de fatos isolados e infalíveis. Ao problematizar narrativas simplistas, como a construção da Tabela Periódica a partir de um “sonho de Mendeleev”, os aprendizes são levados a compreender a ciência como um empreendimento coletivo, caracterizado por debates e revisões constantes (Peduzzi; Raicik, 2020).

Além disso, as UEPS reforçam a importância de um ensino que se preocupa e que valoriza o diálogo e a interação, reconhecendo o papel fundamental do professor como mediador do conhecimento. É relevante mencionar que, não declinando das orientações primordiais ao referencial de Moreira, o docente pode adequar a UEPS para a sua turma, principalmente em termos de conteúdos, materiais, abordagens, é ele quem está mais familiarizado com as particularidades de seus alunos.

A partir da publicação de Moreira (2011b), entre outras, apresentando sistematicamente as UEPS, muitos trabalhos utilizando essa metodologia vêm sendo desenvolvidos, mostrando suas potencialidades para o ensino (Calheiro; Garcia, 2014; Coelho *et al.*, 2017; Sobiecizk, 2017; Damasio; Peduzzi, 2016; 2017; Souza; Pinheiro, 2019; Hammel *et al.*, 2019). De acordo com Raicik (2019), o número de estudos publicados sobre o

assunto foi/é tão expressivo que pode ser um indicativo de que as UEPS são uma tendência para a área do ensino de ciências.

A conscientização sobre as concepções epistemológicas e a capacidade de utilizá-las de maneira reflexiva no processo de ensino são fatores fundamentais para promover uma educação científica de qualidade. De modo geral, a abordagem proposta pela UEPS “*Elementos de construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev.*” pode ser utilizada como referência para outras situações educacionais, que buscam um ensino de ciências cada vez mais contextual. Bem como, e principalmente, tem a potencialidade de promover um conhecimento mais profundo sobre a Tabela Periódica de Mendeleev e outras sistematizações históricas, perpassando as bases dos estudos sobre os elementos e as pesquisas sistemáticas surgidas a partir do século XVI, as diferentes perspectivas que conviveram até o século XIX — por vezes de maneira harmônica, às vezes de forma conflituosa —, e, mostrando, ainda que brevemente, a complexidade e a riqueza de detalhes presentes no processo de descoberta da Lei Periódica e construção da Tabela Periódica por Mendeleev. Como desdobramentos futuros de pesquisa, ficam as profícuas análises que podem ser realizadas a partir da implementação dessa UEPS.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana Ltda., 1980.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Porto: Paralelo Editora, LDA, 2003.

CALHEIRO, L. B.; GARCIA, I. K. Proposta de Inserção de Tópicos de Física de Partículas Integradas ao Conceito de Carga Elétrica por Meio de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 1, p. 177-192, 2014.

COELHO, A. L. M. B.; TEIXEIRA, C. B.; OLIVEIRA, F.; MEIRA, S. L. B. Uma UEPS para o ensino dos espelhos esféricos. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 8, p.121-140.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visado uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. **Revista Labore em Ensino de Ciências**, Campo Grande, v. 1, n. 1, p. 14-34, 2016.

DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. História e filosofia da ciência na educação científica: para quê? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 77-95, 2017.

DAMASIO, F. **A História da Ciência na Educação Científica**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28 n. 1, p. 27-59, 2011.

HANSON, N. R. An Anatomy of Discovery. **The Journal of Philosophy**, v. 64 n. 11, p. 321-352, 1967. <https://doi.org/10.2307/2024301>.

HAMMEL, C.; MIYAHARA, R. Y.; SANTOS, S. A. Uma UEPS com enfoque CTSA no ensino de física: geração, produção e consumo de energia elétrica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 256-270, 2019.

IFScience. “**Mendeleev e o sonho da Tabela Periódica: um convite à reflexão**, 2021. Disponível em: <https://youtu.be/IKUE3534Fjg?si=tDS7Y4Zl-aUf5aRz>. Acesso em: 12 jul. 2024.

KUHN, T. S. **A tensão essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2018.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; DAMASIO, F. “O sonho de Mendeleiev” e a construção da tabela periódica: análise de um material de divulgação científica à luz de aspectos de natureza da ciência. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 209-236, 2022. DOI doi.org/10.5007/1982-5153.2022.e84228.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, v. 25, e46058, 2023. DOI doi.org/10.1590/1983-21172022240157.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2024a.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século XIX. No prelo, 2024b.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas. No prelo, 2024c.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Elementos histórico-epistemológicos envolvidos na construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev. No prelo, 2024d.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-224, 1995.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Teorias construtivistas. **Textos de apoio ao professor de física**, n. 10, 1999

MOREIRA, M.A. A pesquisa em Educação em Ciências e a Formação Permanente do Professor de Ciências. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2009.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011a.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011b.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Qurrriculum**, n. 25, 2012.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas v e unidades de ensino potencialmente significativas**. Material de Apoio. Instituto de Física, UFRGS, 2013.

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

PAULO, I. C. J. **Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhagen e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. Burgos: Universidade de Burgos, 2006. Tese – Doutorado em Ensino de Ciências, 2006.

PAULO, I. J. C.; SOUZA, C. M. S. G. **A teoria da aprendizagem significativa e seus desdobramentos na dinâmica de ensinar e aprender ciências**. Cuiabá: UAB/UFMT, 2011.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEDUZZI, L. O. Q.; RAICIK, A. C. Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

SOBIECZIAK, S. **História da Física e Natureza da Ciência em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)**. 2017. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

SOUZA, G. F.; PINHEIRO, N. A. M. Unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS): identificando tendências e possibilidades de pesquisa. **Revista Dynamis**, v. 25, n. 1, p. 113-128, 2019.

STRATHERN, P. **O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química**. Rio de Janeiro: Zahar, 2002.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem conceitual no ensino de física**. Bahia: UFBA, 2010. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

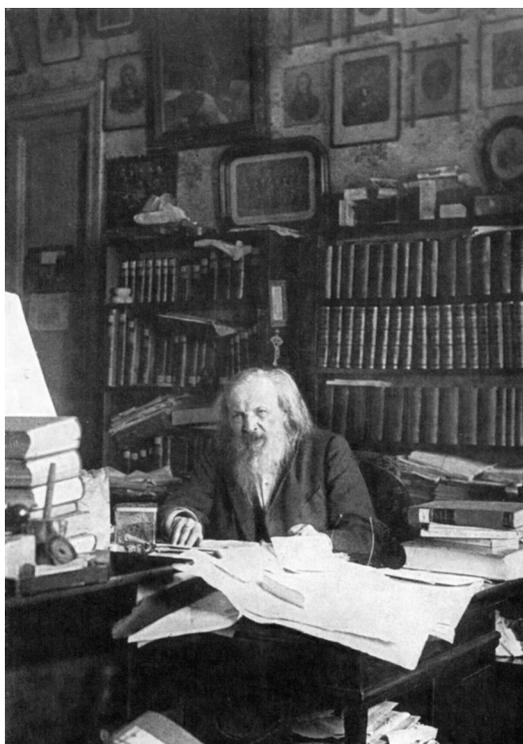
TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JUNIOR; O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. p. 9-40.

WHITAKER, M. A. B. History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II. **Physics Education**, v. 14, 1979.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não é incomum que a Tabela Periódica dos Elementos químicos, apesar de ser correntemente conhecida no ensino e em materiais didáticos, seja vinculada a um mero sonho do químico russo Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907). Além disso, quando se veicula uma imagem de Mendeleev em materiais de distintas naturezas, sejam educacionais ou não, normalmente, ela o mostra muitos anos depois de apresentar para a comunidade científica sua sistematização. Como na figura abaixo (Figura 1), essas imagens o representam sentado em seu local de trabalho, mais de três décadas depois de sua seminal publicação periódica, rodeado de livros e papéis, em grande parte das vezes muito sério e já no final de sua carreira. Vinculado a essas imagens, há narrativas simplistas e apelativas que afirmam que foi na mesa ali retratada que, literalmente, ele escreveu a sua Tabela Periódica, meramente arranjando os elementos químicos a partir de seu peso atômico e *descobrimo*, assim, a Lei Periódica; ou então que, adormecido sobre ela, teria tido o famoso sonho fulcral (Kedrov, 1966; Gordin, 2019).

Figura 1: Dmitri Ivanovich Mendeleev em sua mesa de trabalho em 1904.



Fonte: Gordin, 2019.

Não obstante, um resgate histórico-epistemológico da gênese da Tabela Periódica permite contextualizar a narrativa simplista do sonho de Mendeleev e as suas investigações, seus esforços, suas ambivalências teóricas, as influências que sofreu e exerceu, os contatos com outros estudiosos, sua vida pública. Ademais, uma análise desse episódio, com zelo epistemológico e historiográfico, permite, ainda, evidenciar outros estudiosos que são comumente esquecidos e suas sistematizações, como Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, Alexandre É. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, Julius Lothar Meyer (1830-1895) e sua Tabela de Elementos.

Por conseguinte, enfatiza-se aquilo que a literatura em educação científica vem ressaltando há décadas: a proficuidade da utilização da História e Filosofia da Ciência (HFC) como uma forma de promover um ensino mais contextualizado, que viabilize um entendimento mais amplo do papel da ciência na sociedade, caracterizando-a como um empreendimento pertencente à cultura (Matthews, 1995; Peduzzi, 2001; Silva; Gastal, 2008; Teixeira; Greca; Freire Junior, 2012; Moura, 2014; Raicik; Peduzzi, 2015; Cardoso; Forato; Rodrigues, 2019). Além disso, a HFC possibilita que sejam discutidos aspectos de Natureza da Ciência (NdC) (Moura, 2014).

Relatos de episódios históricos cuidadosamente reconstruídos configuram-se modelos de natureza da ciência de cada contexto sócio-histórico-cultural, e podem conferir significado às noções epistemológicas abstratas desvendando os diferentes processos que levaram à construção de conceitos (Forato; Pietrocola; Martins, 2011, p. 29).

Contudo, para que isso seja possível, surgem ao menos duas demandas que necessitam, ainda, de atenção. A primeira delas é a formação de professores preparados para desenvolver essas discussões em sala de aula, em distintos níveis. Outro ponto importante é a criação de materiais didáticos e paradidáticos adequados (Martins, 2007), que não recaiam, por exemplo, em whiggismos, quasi-histórias ou pseudo-histórias (Withaker, 1979; Matthews, 1995; Allchin, 2004; Martins, 2005).

Nesse sentido, a dissertação buscou *desenvolver uma investigação histórico-epistemológica acerca da Tabela Periódica de Mendeleev visando elaborar uma UEPS [Unidade de Ensino Potencialmente Significativa] que comporte, por meio de uma articulação da História e Filosofia da Ciência contemporânea e de princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel [TAS], discussões conceituais e relativas à Natureza da Ciência sobre essa temática.*

Apoiada nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS de Ausubel) e metodológico (UEPS) e à luz de uma historiografia contemporânea, a presente dissertação visou responder ao seguinte problema de pesquisa: *Como aspectos de História e Filosofia da Ciência e de Natureza da Ciência relacionados à gênese da Tabela Periódica podem contribuir para discussões de e sobre ciência no ensino de física e química?* Em vista de responder a essa questão, foram estabelecidos sete objetivos específicos, alcançados ao longo de seis artigos que compõem a dissertação.

O primeiro objetivo específico — *desenvolver um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI* — é explorado no primeiro capítulo da pesquisa, intitulado “Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI”. Esse artigo apresenta algumas visões de elemento/matéria perpassando os gregos antigos, com suas teorias, e a alquimia árabo-europeia. Visando destacar como concepções ancoradas no mágico-vitalismo foram essenciais para o entendimento de matéria, sobretudo a partir do Renascimento, adentra em uma discussão acerca dessa corrente filosófica e algumas de suas implicações para o surgimento, no século XVII, de um conceito de elemento no período de ciência moderna. Em síntese, foi possível evidenciar que a pergunta “o que constitui a matéria?” é bastante antiga e acompanhou a humanidade de diferentes maneiras.

No ensino, em geral, a ideia de elemento está muito atrelada ao de elemento químico e às teorias atômicas (Taber, 2019) e não apresenta uma contextualização histórico-epistemológica desse conceito (tão plural). Antes do século XVI existiam teorias bastante plurais, com bases filosóficas sólidas que permitiam não somente uma interpretação da constituição da matéria, mas também aplicações práticas, como a fabricação de fármacos e o estudo de doenças (Banchetti-Robino, 2011). Portanto, uma contextualização, ainda que breve, de como o conceito de elemento foi desenvolvido e transformado ao longo do tempo, pode revelar não apenas a maneira como os estudiosos observavam e exploravam o mundo e compreendiam a constituição das coisas, mas também seus princípios filosóficos mais fundamentais.

Identificar e analisar algumas perspectivas acerca do conceito de elemento como constituinte fundamental da matéria entre os séculos XVII e início do XIX é o segundo objetivo específico da presente pesquisa, e está contemplado no seu segundo capítulo, intitulado “Considerações histórico-epistemológicas acerca do conceito de elemento: algumas perspectivas que circularam do início da ciência moderna até as primeiras décadas do século

XIX”. Esse artigo aborda brevemente estudos de Gassendi, a concepção de elemento desenvolvida por Boyle e sua defesa à filosofia corpuscular, a tabela de substâncias simples de Lavoisier, a teoria atômica de Dalton e alguns desdobramentos posteriores.

O século XVII foi marcado por transformações epistemológicas, teóricas, experimentais, como o desenvolvimento de relações matemáticas de proporcionalidade, o crescimento do número de laboratórios e de equipamentos que permitiram um estudo empírico cada vez mais sistemático de diferentes compostos e novas conceituações de elemento (Zaterka, 2004). A contextualização desses estudos permite que se compreenda melhor as raízes das concepções de elementos que surgiram no século XIX. Apesar de mais sistemáticos, os estudos ainda não eram padronizados, o que, junto a diferentes vertentes filosóficas defendidas pelos estudiosos, levou ao surgimento de discrepâncias de base, não tendo uma nomenclatura padrão, não possuindo conceitos bem definidos de átomo, molécula, substância, compostos, apresentando diferentes procedimentos de pesagem dos elementos.

Assim, os dois primeiros capítulos da dissertação introduzem discussões sobre elemento; sobre os estudos de perspectivas de matéria. O primeiro faz uma diferenciação progressiva sobre esses conceitos até o século XVI, evidenciando que as preocupações com a constituição da matéria iniciaram muito tempo antes do período que hoje se conhece por “ciência moderna”. Já o segundo, também em um processo de diferenciação progressiva, dá prosseguimento histórico (não linear) a essas discussões, destacando algumas pesquisas que influenciaram substancialmente os estudos sobre os elementos e suas classificações no século XIX. Apesar de se constituírem em dois artigos independentes ao leitor em geral, para o leitor da dissertação é possível acompanhar o desenvolvimento histórico e conceitual dessa diferenciação progressiva sobre o conceito de elemento, que verá, no capítulo seguinte, um aprofundamento desse tema, base para outros conhecimentos, como os de classificação.

As diferentes teorias de matéria que circulavam no século XIX e as sistematizações químicas levam ao terceiro capítulo da dissertação, denominado “Classificações de elementos químicos no século XIX: um resgate histórico na busca por uma correlação entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas”, que cumpre o objetivo específico de *investigar sistematizações de elementos químicos do século XIX, o Congresso Internacional de Karlsruhe e suas influências para o entendimento de matéria e das relações entre peso atômico e propriedades físico-químicas dos elementos até meados da década de 1860*. A partir de um resgate histórico-epistemológico, esse artigo apresenta as sistematizações de Johann W. Döbereiner (1780-1849) e a sua Lei das Tríades, a de

Alexandre E. B. de Chancourtois (1820-1886) e o seu Parafuso Telúrico, a de John A. R. Newlands (1837-1898) e a sua Lei das Oitavas, além de uma das tabelas de Julius Lothar Meyer (1830-1895), visando evidenciar que no século XIX há distintas sistematizações dos elementos químicos. Isso mostra que o estudo das relações entre o peso atômico dos elementos e suas propriedades físico-químicas não foram inauguradas por Mendeleev, mas já formavam um campo de pesquisas estabelecido na ciência do período (Van Spronsen, 1969). Além disso, o artigo contextualiza, ainda que sucintamente, a relevância das discussões relacionadas aos procedimentos de determinação do peso atômico, da nomenclatura dos elementos, dos dissensos linguísticos e conceituais relativos a átomos, moléculas, substâncias, entre outros, que permearam a comunidade científica naquele momento, vinculado ao Congresso de Karlsruhe.

As diversas tabelas e sistematizações que surgiram no século XIX permitem destacar, por exemplo, as diferentes motivações que levaram os estudiosos a construir suas classificações, a pluralidade de metodologias na ciência, a influência das idiosincrasias, como a analogia entre as oitavas musicais e as oitavas na repetição de propriedades dos elementos feita por Newlands, e as subjetividades da comunidade científica ao, por exemplo, desqualificar o parafuso telúrico de De Chancourtois pela linguagem com que foi escrito o trabalho, sem julgar especificamente o conteúdo que ele apresentava (Giunta; Mainz; Girolami, 2021) etc. Nesse sentido, o artigo também se vincula ao quinto objetivo específico da dissertação, a saber: *evidenciar aspectos relativos à NdC (e.g., inexistência de um método universal, a noção de descoberta, dentre outros) na gênese da Tabela Periódica*. Ademais, as reflexões estabelecidas permitem evidenciar a importância dos encontros científicos e da comunicação institucional entre os estudiosos, mostrando como, em maior ou menor grau, eles estavam em contato com ideias semelhantes, dentro de um arcabouço teórico próximo ou divergente. Certamente, isso proporciona uma compreensão mais ampla da influência que diversas teorias da época exerceram na construção das tabelas (Brito; Rodríguez; Niaz, 2005).

O quarto capítulo, “*Elementos histórico-epistemológicos envolvidos na construção da Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev*”, responde ao quarto e ao quinto objetivos específicos de: i) *analisar o desenvolvimento da Tabela Periódica, especialmente no período entre 1860-1870, visando problematizar e possibilitar a desnaturalização de narrativas simplistas, como a do mero sonho de Mendeleev* e ii) *evidenciar aspectos relativos à NdC (e.g., inexistência de um método universal, a noção de descoberta, dentre outros) na gênese da Tabela Periódica*. Esse capítulo contempla aspectos da vida e obra de Mendeleev.

Ao resgatar algumas de suas pesquisas, evidencia-se que Mendeleev já trabalhava com propriedades de elementos químicos e com aspectos de classificações desde a sua graduação, mostrando o arcabouço teórico que possuía sobre o tema, isto é, evidencia que a Tabela Periódica mendeleeviana não surgiu “do nada” (Kedrov, 2007). Não menos importantes são suas relações com a vida pública na Rússia. Ele dava aulas em diferentes instituições; participava de associações, dentre as quais ministrava palestras e cursos fomentando a integração de técnicas da química no auxílio à melhoria de processos agropecuários e artesanais; ajudou na fundação da Sociedade Química Russa e no periódico de química vinculado a ela; fazia viagens a diversos países apresentando a ciência russa e buscando novas tecnologias para seu país, entre outros (Kedrov, 2007; Gordin, 2019). Como se pôde destacar, Mendeleev — químico, professor, cidadão russo, ser humano — foi muito além da sua mesa de trabalho entulhada de papel, como aparece acima representado.

As discussões realizadas nesse capítulo tiveram o intuito de destacar aspectos relativos à Tabela Periódica de Mendeleev, em particular, que podem ser discutidos para além das narrativas simplistas sobre a sua construção. Assim, o terceiro e o quarto capítulos dialogam entre si através da relação e diferenciação progressiva feita entre as sistematizações (não periódicas do capítulo 3 e periódicas do capítulo 4), e por meio de uma reconciliação integrativa a partir dos conceitos de elementos que são importantes para entender essas classificações, retomados nos primeiros dois capítulos.

O quinto capítulo da dissertação é intitulado “Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn”, efetivando o sexto objetivo específico de *explorar a noção de descoberta científica a partir de considerações de Norwood Hanson e Thomas Kuhn* e, de certo modo, o objetivo específico cinco, *evidenciar aspectos relativos à NdC (e.g., inexistência de um método universal, a noção de descoberta, dentre outros) na gênese da Tabela Periódica*. Esse capítulo contextualiza a estrutura conceitual e epistemológica de descobertas científicas com base nas noções de Hanson e Kuhn, provocando discussões focadas em episódios históricos relacionados à descoberta de elementos químicos e à Lei Periódica. No âmbito da dissertação, o artigo promove uma diferenciação progressiva, em nível mais alto de complexidade, relativa à noção de descoberta e uma reconciliação integrativa com exemplificações de episódios específicos relacionados com as breves problematizações feitas nos capítulos anteriores.

“Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre a Tabela Periódica de Dmitri Ivanovich Mendeleev: potencialidades didáticas da história e filosofia da ciência e de

aspectos de natureza da ciência no âmbito da graduação em física e química” é o sexto e último capítulo da dissertação, que cumpre o objetivo específico de *desenvolver uma UEPS, voltada a licenciandos e bacharelados de Física e Química, que discuta a Tabela Periódica de Mendeleev de forma histórica, epistemológica e contextual*. Esse capítulo apresenta uma unidade de ensino ancorada nos referenciais epistemológico (moderna filosofia da ciência), educacional (princípios da TAS) e metodológico (UEPS) com base em uma historiografia contemporânea. Para tanto, ressaltando a relevância de um ensino que promove a valorização do diálogo e a interação, reconhecendo o papel fundamental do professor como mediador do conhecimento, essa UEPS — através de uma abordagem que integra a HFC a aspectos de NdC — apresenta uma perspectiva prática para que educadores possam desenvolver discussões sobre a gênese da Tabela Periódica, que transcendam o ano de 1869 e o próprio Mendeleev.

À luz das relações entre os capítulos desenvolvidos e os objetivos específicos da dissertação, como exposto, pode-se afirmar que aspectos de HFC e da NdC relacionados à gênese da Tabela Periódica podem contribuir para promover discussões e reflexões *de e sobre* ciência. Na medida em que esses aspectos: i) explicitam características da prática e pensamento científico ao longo de diferentes eras, sobretudo, perpassando particularmente na conceitualização de elemento, por exemplo, com suas distintas interpretações ao longo dos séculos até o período das primeiras sistematizações e da tabela mendeleeviana; ii) expõem a pluralidade de metodologias utilizadas para pensar as classificações químicas — indo de encontro ao pensando de um único método universal para a ciência —, metodologias que incluem as idiossincrasias, as correntes filosóficas, as preferências teóricas; iii) ressaltam a coletividade da ciência em dois sentidos, um mais indireto, mostrando a importância de pesquisas passadas para o desenvolvimento de novos estudos e outro mais direto, destacando a troca de conhecimentos em concomitância entre estudiosos contemporâneos; iv) apresentam mais que produtos da ciência, permitem contextualizar o desenvolvimento de conhecimentos, mostrando inclusive suas disputas, na qual dois ou mais lados, muitas vezes não totalmente dicotômicos, lutam pela hegemonia de teorias; v) contextualizam outras sistematizações de elementos, como a de Döbereiner, De Chancourtois, Newlands e Meyer; vi) permitem explorar aspectos biográficos de Mendeleev e a importância deles para a sua sistematização; vii) fomentam uma discussão direcionada à estrutura conceitual e epistemológica de uma descoberta científica e a relevância disso para compreender a descoberta da lei periódica e a gênese da tabela periódica; viii) possibilitam o desenvolvimento de materiais e estratégias didáticas, fundamentadas histórica e epistemologicamente.

Um enfoque na gênese da Tabela Periódica, e conseqüentemente em discussões que ela desencadeia, como aquelas relativas à noção de elemento/matéria, às outras classificações, às disputas teóricas e à própria Lei Periódica, pode contribuir para o esclarecimento de concepções ainda pouco elaboradas entre os estudantes. Dentre elas, pode-se citar o conceito de elemento, de substância, mistura, reações químicas, periodicidade química. A literatura tem apontado dificuldades no aprendizado desses conceitos, que podem ser trabalhados em uma perspectiva histórico-epistemológica no ensino (Nahum et al., 2010; Lucena et al., 2012; Silva; Amaral 2016; Santos et al., 2017; Taber, 2019; Leite et al., 2021). Uma discussão contextualizada exhibe concepções que são situadas histórica e culturalmente, acompanhando as mudanças da sociedade, um conhecimento que não parte do nada, que não é apenas uma sentença em um livro didático ou manual científico, um mero produto da ciência. Conhecimentos científicos, quando situados histórica, cultural, filosófica e socialmente, podem ganhar significados dentro de um sistema de pensamento, deixando de ser enunciados soltos a serem meramente decorados, concorrendo para a promoção de aprendizagens significativas.

A proficiência da pesquisa aqui desenvolvida também pode ser reforçada com os resultados que já alcançou com suas publicações em periódicos e eventos no âmbito da educação científica, tanto em nível nacional como internacional. O formato de escrita da dissertação, na forma de artigos, já viabilizou a divulgação de partes da pesquisa e a interlocução com a comunidade científica, que ao longo do processo de escrita contribuiu para melhorias no trabalho. Dos seis capítulos elaborados, dois já se encontram publicados: *Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI* (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024a) e *Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn* (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2023), respectivamente os capítulos 1 e 5. Esse último, inclusive, foi selecionado para publicação no periódico *Foundations of Chemistry Philosophical, Historical, Educational and Interdisciplinary Studies of Chemistry* (Lorenzetti; Raicik; Peduzzi, 2024b). Os capítulos 2 e 3 também já se encontram submetidos em periódicos da área. Com efeito, essas interlocuções e aprimoramento do trabalho, com a comunidade, apenas reforçam a proficiência em estruturar a dissertação em formato de artigos. Ademais, como a literatura vem enfatizando, além dessa interlocução e da própria divulgação da pesquisa de forma mais ampla, esse formato permite uma formação mais completa ao próprio pesquisador em formação (Gonçalves (2002), Freitas (2007), Teixeira

(2010), Oliveira (2010), Cordeiro (2011), Raicik (2015; 2019), Martins (2016), Damasio (2017), Jorge (2018; 2022), Lorenzetti (2021) e Nascimento (2022)).

É importante destacar que esta pesquisa de mestrado não encerra as distintas perspectivas de discussão sobre o tema, tão abrangente. Pelo contrário, ela sinaliza a proficuidade de novos estudos como: i) análises de conteúdo de livros didáticos tendo como ponto de partida o trabalho didático-historiográfico aqui desenvolvido; ii) pesquisa historiográfica com enfoque específico na Baixa Idade Média, abordando as perspectivas mágico-vitalistas e espagiristas, discutindo visões mecanicistas e atomistas do período, voltadas para uma abordagem na educação científica; iii) uma análise das disputas teóricas envolvendo a pesagem dos elementos químicos (peso atômico *versus* peso equivalente), em maior nível de profundidade do que aquele aqui tratado; iv) um resgate histórico-epistemológico do Congresso Internacional de Karlsruhe, a partir de fontes primárias, buscando entender e explorar, de modo geral, as discussões que foram feitas e os reflexos dos diálogos que lá aconteceram, de forma mais particular; v) uma análise do manual científico de Mendeleev, o *Principles of Chemistry*, que representa uma importante fonte primária e histórica, que, para além dos conteúdos conceituais em si, denota, em suas entrelinhas, reflexões *sobre* ciência feitas por Mendeleev; vi) uma investigação biográfica tendo por foco o próprio Mendeleev enquanto químico, professor, cidadão russo, ser humano; vii) um estudo envolvendo a perspectiva da História Cultural das Ciências com outras fontes primárias de Mendeleev, como seus diários, uma revista científica sobre educação, conferências transcritas, outros manuais científicos; viii) a implementação da UEPS teórica aqui desenvolvida, em uma situação concreta; ix) a elaboração de outras UEPS para distintos níveis educacionais.

Por fim, de modo a trazer aqui uma última reflexão escrita, registra-se um trecho do prefácio da 5ª edição do *Principles of Chemistry* de Mendeleev (Mendeléeff, 1891, p. viii, tradução nossa):

Além dessa vocação honrosa [promover o bem estar], a química tem outra. Com ela, como com qualquer outra ciência elaborada, existem muitas aspirações elevadas, cuja contemplação serve para inspirar os seus trabalhadores e partidários. Essa conclusão compreende não apenas os principais dados da ciência, mas também as deduções geralmente aceitas, e também as hipóteses, que se referem a fenômenos ainda imperfeitamente conhecidos. Nesse último sentido, a contemplação científica varia muito com os tempos e as pessoas, traz a marca do poder criativo e abrange o ramo mais elevado do progresso científico.

“A contemplação científica varia muito com os tempos e as pessoas”, diz Mendeleev, “traz a marca do poder criativo”... A ciência linear, a-histórica, descontextualizada, imune a

aspectos subjetivos e à pluralidade humana é um mito estéril, um anteparo opaco que lança sombra sobre o arcabouço histórico e cultural das ciências. Como sobredito neste trabalho, a HFC e a NdC são como o vento que dispersa a neblina matinal no leito de um rio, deixando à mostra o bater de pedras e as grandes transformações que ele sofreu durante a noite, sem torná-lo menos vigoroso, assim como não tornam a ciência menos científica.

A Tabela Periódica, a depender da perspectiva que se utiliza para discuti-la, pode ser um mero produto da ciência, uma folha com elementos químicos organizados a partir de seu peso atômico (número atômico, atualmente); ou pode representar um dos grandes mosaicos que formam o vitral da Ciência, com suas diversas cores, influências, culturas; pequenos grãos de areia fundidos atravessados por reflexões, deixando de ser opacos, passando a ser translúcidos.

REFERÊNCIAS

ALLCHIN, D. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Studies and Science Education**, v. 95, p. 518-542, 2011.

BANCHETTI-ROBINO, M. P. Ontological tensions in sixteenth and seventeenth century chemistry: between mechanism and vitalism. **Foundations of chemistry**, v. 13, p. 173-186, 2011.

BRITO, A.; RODRÍGUEZ, M. A.; NIAZ, M. A reconstruction of development of the Periodic Table based on History and Philosophy of Science and its implications for General Chemistry Textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 42, n. 1, p. 84-111, 2005.

CARDOSO, M. L. D.; FORATO, T. C. M.; RODRIGUES, M. L. L. Ciência e epistemologia em sala de aula: Uma perspectiva histórica para a teoria de Lamarck. **Filosofia e História da Biologia**, v. 14, n. 1, p. 45-78, 2019.

CORDEIRO, M. D. **Dos Curie a Rutherford: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica.** Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

DAMASIO, F. **A História da Ciência na Educação Científica.** Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28 n. 1, p. 27-59, 2011.

FREITAS, F. H. A. **Os estados relativos de Hugh Everett III: uma análise histórica e conceitual.** Bahia: UFBA, 2007. Dissertação – Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

GIUNTA, C. J.; MAINZ, V. V.; GIROLAMI, G. S. (Ed.). **150 Years of the Periodic Table: A Commemorative Symposium.** Springer, 2021.

GORDIN, M. **A Well-ordered thing: Dmitrii Mendeleev and the shadow of the Periodic Table.** New Jersey: Princeton University Press, 2019

GONÇALVES, M. L. C. **Helmintos, protozoários e algumas idéias: novas perspectivas na paleoparasitologia.** Rio de Janeiro: FOC, 2002. 125 f. Tese – Doutorado em Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

KEDROV, B. M. On the Question of the Psychology of Scientific Creativity. **Soviet Psychology**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 18–37, 1966.

KEDROV, B. M. Mendeleev, Dmitri. In: GILLISPIE, C. C. (Org.) **Dicionário de Biografias Científicas.** Rio de Janeiro: Contraponto, p. 1901-1910, 2007.

JORGE, L. **Na formação de professores e cientistas, uma HQ sobre aspectos da NDC e imagens: encantar-se com os entre-(en)laces.** Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

JORGE, L. **Um expo(r)-(po)sições art(Sci)culado: as transformações da ciência que perpassam pelas artes visuais e se materializam na forma de quadrinhos para a formação de licenciandos(as) e bacharelados(as) em física.** Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022.

LEITE, M. R. V.; CORTELA, B. S. C.; GATTI, S. R. T. As Histórias em Quadrinhos como opção para abordar a História e Filosofia da Ciência no Ensino dos Elementos Químicos: o caso do Lítio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 26, n. 2, p. 313-332, ago., 2021.

LORENZETTI, C. S. **Um resgate histórico da tabela periódica e discussões relativas à natureza da ciência: uma interface entre a divulgação e a educação científica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2021.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Lei Periódica, Elementos Químicos e Descobertas Científicas: ponderações a partir de Norwood Hanson e Thomas Kuhn. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, v. 25, e46058, 2023. DOI doi.org/10.1590/1983-21172022240157.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Mágico-vitalismo, alquimia e outras visões de mundo: um breve estudo histórico sobre concepções de matéria até o século XVI. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2024a.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Periodic law, chemical elements and scientific discoveries: considerations from Norwood Hanson and Thomas Kuhn. **Foundations of Chemistry**, v. 26, n.1, 2024b.

LUCENA, R. M. S.; SOUZA, S. R.; CAMPOS, A. F. Concepções alternativas dos alunos iniciantes do curso de medicina veterinária sobre reações químicas: contextos de uma investigação. **Acta Scientiae**, v. 14, n. 3, p. 472-487, set./dez., 2012.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 02, p. 305-317, 2005.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MARTINS, L. **Abordagens da saúde em livros didáticos de Biologia: análise crítica e proposta de mudança**. Bahia: Universidade Federal da Bahia, 2016. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências, 2016.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-224, 1995.

MENDELÉEFF, D. **The Principles of Chemistry**. Londres; Nova Iorque: Longmans, Green, and Co., 1891.

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

NAHUM, L. T. *et al.* Teaching and learning the concept of chemical bonding. **Studies in Science Education**, v. 46, n. 2, p. 179-207, 2010.

NASCIMENTO, L. P. **Jocelyn Bell Burnell e os pulsares: um estudo histórico-epistemológico para a educação científica**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022.

OLIVEIRA, A. M. P. **Modelagem matemática e as tensões nos discursos dos professores**. Bahia: UFBA, 2010. Tese – Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M. (org.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015.

RAICIK, A. C. **Experimentos exploratórios: os contextos da descoberta e da justificativa nos trabalhos de Gray e Du Fay**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e

Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

RAÍCIK, A. C. **Experimentos exploratórios e experimentos cruciais no âmbito de uma controvérsia científica: o caso de Galvani e Volta e suas implicações para o ensino.** Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

SANTOS, R. L. R.; LIMA, J. P. M.; SARMENTO, V. H. V. Concepções de alunos ingressantes no curso de Licenciatura em Química sobre alguns conceitos de soluções. **REnCiMa**, v. 8, n. 3, p. 41-60, jul./set., 2017.

SILVA, C. C.; GASTAL, M. L. Ensinando ciências e ensinando a respeito das ciências. *In: Quanta ciência há no ensino de ciências*, p. 35-44, 2008.

SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Concepções sobre Substância: Relações entre Contextos de Origem e Possíveis Atribuições de Sentidos. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 70-78, fev., 2016.

TABER, K. S. **The nature of the chemical concept: Re-constructing chemical knowledge in teaching and learning.** Royal Society of Chemistry, 2019.

TAVARES, A. **Isoxazolinás. Uma classe de materiais avançados revisitada.** Porto Alegre: UFRGS, 2010. 287 f. Tese – Doutorado em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JUNIOR; O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de história e filosofia da ciência no ensino de física. *In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). Temas de história e filosofia da ciência no ensino.* Natal: EDUFRN, 2012. p. 9-40.

Van SPRONSEN, J. W. **The periodic system of chemical elements: a history of the first hundred years.** Amsterdam: Elsevier, 1969.

WHITAKER, M. A. B. History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II. **Physics Education**, v. 14, 1979.

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