



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE FÍSICA GLEB WATAGHIN



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MULTIUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA

PATRÍCIA MARIA AZEVEDO XAVIER

**EFEITOS DE SENTIDOS POSSÍVEIS NA LEITURA DE TEXTOS DE  
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E ORIGINAIS DE CIENTISTAS SOBRE A TABELA  
PERIÓDICA**

**POSSIBLE MEANING EFFECTS OF READING SCIENTIFIC DIVULGATION AND  
SCIENTISTS ORIGINALS ABOUT THE PERIODIC TABLE**

CAMPINAS

2023

PATRÍCIA MARIA AZEVEDO XAVIER

**EFEITOS DE SENTIDOS POSSÍVEIS NA LEITURA DE TEXTOS DE  
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E ORIGINAIS DE CIENTISTAS SOBRE A TABELA  
PERIÓDICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM) da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Matemática, na área de Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria José Pereira Monteiro de Almeida

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA PATRÍCIA MARIA AZEVEDO XAVIER E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. MARIA JOSÉ PEREIRA MONTEIRO DE ALMEIDA.

CAMPINAS

2023

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Física Gleb Wataghin  
Lucimeire de Oliveira Silva da Rocha - CRB 8/9174

X19e Xavier, Patrícia Maria Azevedo, 1987-  
Efeitos de sentidos possíveis na leitura de textos de divulgação científica e originais de cientistas sobre a tabela periódica / Patrícia Maria Azevedo Xavier. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Maria José Pereira Monteiro de Almeida.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin.

1. Tabela periódica dos elementos químicos. 2. Leitura. 3. Divulgação científica. 4. Cientistas - Texto original. I. Almeida, Maria José Pereira Monteiro de, 1944-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física Gleb Wataghin. III. Título.

Informações Complementares

**Título em outro idioma:** Possible meaning effects of reading scientific divulgation and scientists originals about the periodic table

**Palavras-chave em inglês:**

Periodic law

Reading

Scientific dissemination

Scientists - Original text

**Área de concentração:** Ensino de Ciências e Matemática

**Titulação:** Doutora em Ensino de Ciências e Matemática

**Banca examinadora:**

Maria José Pereira Monteiro de Almeida [Orientador]

Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa

Gildo Giroto Júnior

Cristhiane Carneiro Cunha Flôr

Marcelo Zanotello

**Data de defesa:** 06-07-2023

**Programa de Pós-Graduação:** Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-3178-6873>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/8144432641445145>

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Comissão Examinadora**

**Data: 06/07/2023**

Profa. Dra. Maria José Pereira Monteiro de Almeida  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientadora

Profa. Dra. Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa  
Membro titular interno (IG / UNICAMP)

Prof. Dr. Gildo Girotto Júnior  
Membro titular interno (IQ / UNICAMP)

Profa. Dra. Cristhiane Carneiro Cunha Flôr  
Membro titular externo (Universidade Federal de Juiz de Fora)

Prof. Dr. Marcelo Zanotello  
Membro titular externo (Universidade Federal do ABC)

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

*Para meu pai, Eli, que sonhou em  
ver os filhos doutores.*

## AGRADECIMENTOS

Finalizar um ciclo não é fácil e este, em especial, foi de grandes desafios. Posso dizer que o tempo do doutorado foi de muitas mudanças, que me ensinaram a ter paciência, a ser forte, a lutar pelos meus sonhos. Foi também um tempo atravessado pela pandemia de Covid-19, que marcou a nossa geração de uma forma que nunca imaginamos e nos tirou pessoas que muito amamos. Hoje, agradeço a Deus por ter me sustentado nessa difícil caminhada e ter me presenteado com pessoas especiais a quem sou imensamente grata.

Agradeço à professora Maria José de Almeida pela compreensão com a minha distância física, pela orientação e por não me deixar desistir nas diversas vezes que pensei que não conseguiria concluir este trabalho.

Agradeço ao meu esposo Rodolpho, que sempre me incentivou a correr atrás dos meus sonhos, me fortaleceu quando precisei e esteve ao meu lado com amor e alegria em todos os momentos.

Agradeço à minha mãe, Laurinda, e ao meu pai, Eli, que lutaram para me proporcionar uma educação de qualidade, se esforçando para que hoje eu pudesse estar aqui. Agradeço também ao meu irmão, Gustavo, pelo exemplo de dedicação aos estudos, o que me inspirou a prosseguir.

Agradeço aos professores e, em especial, aos alunos do Instituto Federal da Bahia, campus Porto Seguro, pelas trocas, aprendizados e risadas diários.

Agradeço aos professores e colegas do Pecim por todo o aprendizado e contribuições a este trabalho.

Agradeço imensamente à professora Cristhiane Flôr por ter me apresentado à pesquisa em Ensino de Química, e me acompanhado desde a graduação.

Agradeço aos amigos que foram força, alegria e luz durante esse tempo, e me ajudaram nessa jornada.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro sob o código de financiamento 001.

## RESUMO

O ensino da tabela periódica, um importante artefato da Química, por vezes tem se furtado das questões históricas referentes à sua construção, baseando-se na memorização de números, símbolos e de setas indicativas das tendências periódicas. Por outro lado, a pesquisa no ensino de ciências tem demonstrado a importância da abordagem de aspectos históricos, contribuindo para desfazer visões equivocadas de Ciência. Ao mesmo tempo, a literatura da área aponta a necessidade de trabalhar com a leitura em sala de aula, destacando as potencialidades e desafios de utilizar diferentes tipos textuais. Dessa forma, trazemos os seguintes objetivos de pesquisa: Compreender as possibilidades e limites de produção de efeitos de sentidos sobre a tabela periódica a partir da leitura de textos de divulgação científica e originais de um cientista; e, estabelecer possibilidades de articulação entre os efeitos de sentidos possíveis para a classificação dos elementos químicos e a construção da tabela periódica presentes em tais textos. Para tanto, realizamos um trabalho de análise do livro de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, de Sam Kean, e do texto escrito por Mendeleev “*The periodic law of the Chemical elements*”. Como subsídio teórico-metodológico, trazemos a Análise de Discurso de Linha Francesa na vertente pècheutiana. Dentre os resultados das análises dos textos, observamos como o uso de metáforas pode contribuir para o deslocamento de sentidos já estabilizados sobre a tabela periódica. Alguns pontos importantes emergem das análises e permitem compreender a tabela periódica: a noção de elemento químico, a definição de um critério de organização, a evolução das propostas e o caráter preditivo da tabela proposta por Mendeleev. A partir desses pontos, foi possível levantar sentidos para o processo de construção da tabela periódica, que ora se aproximam das características da Ciência, ora se afastam, demandando uma leitura crítica dos textos. De forma geral, os textos permitem compreender a Ciência como uma construção, de caráter social e passível de modificações, e desfazer a ideia de um “pai” para a tabela periódica.

**Palavras-chave:** Tabela Periódica. Leitura. Divulgação Científica. Originais de Cientistas.

## ABSTRACT

Teaching about the periodic table, an important subject of Chemistry, has often evaded historical issues related to its development, and it has been based on memorization of numbers, symbols, and arrows indicating periodic trends. On the other hand, the research in science teaching has demonstrated the importance of addressing historical aspects, contributing to undo mistaken views of Science. At the same time, the field's literature points to the necessity of working with reading in classroom, highlighting the potential and challenges of working from different textual types. Thus, we bring the following research objectives: To understand the possibilities and limits of the production of meanings about the periodic table in scientific dissemination texts and originals by scientists who contributed to the development of the periodic table; and, to understand the possible meanings about the nature of Chemistry from the originals by scientists and scientific dissemination that address the periodic table. To reach these aims, we propose the analysis of Sam Kean's scientific divulgation book "A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos", and of Mendeleev's original text "*The periodic law of the Chemical elements*", that addresses the periodic table designing process. As a theoretical-methodological support, we bring the Discourse Analysis of the French Line in the pecheutian perspective. Within the analysis results, we observed how the use of metaphors could contribute to the meaning already established about the periodic table. Some important points emerge from the analysis, and they allow us to understand the periodic table: the meaning of chemical element, the organization criteria definition, the periodic table proposals evolution, and the predictive characteristic of Mendeleev's proposed table. From these raised points, it was possible to highlight the paths to the development process of the periodic table, that sometimes gets closer to scientific characteristics, and others it is pushed away, forcing a critical reading of both texts. In general, both texts allow us to understand Science as a construction process, with social character and subject to modification. It also depreciates the well-established idea of a father of the periodic table.

**Keywords:** Periodic Table. Reading. Scientific Divulgation. Scientist originals.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Versão atual da Tabela Periódica dos Elementos Químicos.....	22
Figura 2: Versão longa da Tabela Periódica.....	28
Figura 3: Variação do raio atômico dos elementos em função do número atômico. ....	29
Figura 4: Linha do tempo dos eventos relacionados à construção da tabela periódica. .	34
Figura 5: “Tabela das substâncias simples” proposta por Lavoisier. ....	36
Figura 6: Sistema proposto por Gmelin, em 1843.....	39
Figura 7: O Parafuso Telúrico de Chancourtois de 1862: a) Esquema planejado do Parafuso Telúrico. b) Modelo tridimensional do Parafuso Telúrico. ....	43
Figura 8: Quadro apresentado por Newlands mostrando a relação entre os pesos de elementos pertencentes a um mesmo grupo. ....	44
Figura 9: Tabela proposta por Newlands ordenando os elementos em grupos com propriedades semelhantes. ....	45
Figura 10: Representação da Lei das Oitavas por Newlands em 1865. ....	45
Figura 11: Tabela publicada por Odling em 1864.....	47
Figura 12: Sistema periódico em espiral desenvolvido por Hinrichis.....	48
Figura 13: Tabela publicada por Lothar Meyer em 1864.....	49
Figura 14: Gráfico construído por Meyer, expressando o volume atômico em função do peso atômico. ....	51
Figura 15: Primeira versão da Tabela Periódica de Mendeleev, publicada em 1869.....	53
Figura 16: Tabela Periódica antes da 2ª Guerra Mundial.....	57
Figura 17: Tabela Periódica de 1963.....	58
Figura 18: Imagem da Tabela Periódica apresentada por Sam Kean. ....	130
Figura 19: Inversões e previsões de elementos na tabela periódica de Mendeleev.....	134
Figura 20: Proposta de organização dos elementos transurânicos em 1944.....	138
Figura 21: Rascunhos do sistema proposto por Mendeleev. ....	155
Figura 22: Tabela periódica de Mendeleev adaptada. ....	156

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relação dos trabalhos encontrados por meio da revisão de literatura.....	60
Quadro 2: Propostas de ensino encontradas na revisão de literatura.....	64
Quadro 3: Trabalhos de pesquisa encontrados na revisão de literatura.....	75
Quadro 4: Expressões utilizadas para caracterização de cientistas na obra “A colher que desaparece”.....	144
Quadro 5: Comparação entre pesos equivalentes e pesos atômicos.....	163

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AD</b>	Análise de Discurso
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CTS-Arte</b>	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Arte
<b>DC</b>	Divulgação Científica
<b>EJA</b>	Educação de Jovens e Adultos
<b>ENEM</b>	Exame Nacional do Ensino Médio
<b>ENEQ</b>	Encontro Nacional de Ensino de Química
<b>ENPEC</b>	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
<b>HC</b>	História da Ciência
<b>IENCI</b>	Investigações em Ensino de Ciências
<b>IUPAC</b>	União Internacional de Química Pura e Aplicada
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PNLD</b>	Programa Nacional do Livro Didático
<b>PROEJA</b>	Programa de Integração da Educação Profissional Técnica de Nível Médio ao Ensino Técnico na Modalidade de Jovens e Adultos
<b>QNEsc</b>	Química Nova na Escola
<b>RBPEC</b>	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
<b>TIC</b>	Tecnologias da Informação e Comunicação
<b>TLDC</b>	Textos Literários de Divulgação Científica

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO: MEMÓRIAS E INQUIETAÇÕES SOBRE A TABELA PERIÓDICA .....</b>	<b>14</b>
<b>1 A TABELA PERIÓDICA .....</b>	<b>22</b>
1.1 TABELA PERIÓDICA: CONCEITOS E IMPORTÂNCIA .....	23
1.1.1 Tabela Periódica e estrutura eletrônica dos átomos.....	25
1.1.2 Tabela Periódica e propriedades periódicas.....	29
1.2 PERCURSOS DE CONSTRUÇÃO DA TABELA PERIÓDICA.....	31
1.2.2 A década de 1860.....	41
1.2.3 Atualizações na Tabela Periódica de Mendeleev .....	55
<b>2 ALGUNS ESTUDOS SOBRE A TABELA PERIÓDICA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>
2.1 ATIVIDADES DE ENSINO DA TABELA PERIÓDICA .....	63
2.1.1 Atividades lúdicas.....	65
2.1.2 Utilização de tecnologias da informação e comunicação .....	67
2.1.3 Recursos pedagógicos para acessibilidade .....	68
2.1.4 História da tabela periódica .....	69
2.1.5 Atividades de leitura e escrita.....	71
2.1.6 Outras atividades .....	73
2.2 PESQUISAS SOBRE A TABELA PERIÓDICA.....	75
2.2.1 Concepções de estudantes e professores.....	76
2.2.2 Revisão de literatura .....	78
2.2.3 Análise de Livros Didáticos.....	78
2.2.4 Aspectos históricos .....	80
2.2.5 Divulgação Científica .....	81
2.3 CONTRIBUIÇÕES DOS ESTUDOS SOBRE A TABELA PERIÓDICA .....	83
<b>3 APOIO TEÓRICO-METODOLÓGICO .....</b>	<b>87</b>
3.1 ALGUNS PRINCÍPIOS E NOÇÕES DA ANÁLISE DE DISCURSO.....	87

3.2 PENSANDO A LEITURA A PARTIR DA ANÁLISE DE DISCURSO.....	94
3.3 LEITURA NO ENSINO DE CIÊNCIAS.....	99
3.3.1 Textos originais de cientistas.....	101
3.3.2 Textos de divulgação científica.....	103
<b>4 ESTABELECENDO AS BASES PARA A ANÁLISE.....</b>	<b>108</b>
4.1 O DISPOSITIVO DE INTERPRETAÇÃO.....	108
4.2 CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO.....	109
<b>5 ALGUNS EFEITOS DE SENTIDOS NOS TEXTOS SELECIONADOS.....</b>	<b>116</b>
5.1 LEITURAS DA OBRA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA.....	116
5.1.1 “A colher que desaparece [...]” enquanto obra de divulgação científica..	116
5.1.2 Entre metáforas e histórias: entrelaces entre ditos e não ditos.....	124
5.1.2.1 O “catálogo” de Lavoisier.....	126
5.1.2.2 Mendeleev em seu “castelo”.....	129
5.1.2.3 O “mapa” dos elementos de Seaborg.....	136
5.1.3 Produção da Química enquanto Ciência.....	142
5.1.3.1 Os cientistas.....	142
5.1.3.2 Idas e vindas na construção da tabela periódica.....	150
5.2 LEITURAS DE MENDELEEV.....	152
5.2.1 A lei periódica.....	154
5.2.2 Características da Ciência.....	160
5.3 INTERLOCUÇÕES ENTRE OS TEXTOS E O ENSINO DE QUÍMICA.....	169
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>174</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>177</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>190</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>200</b>

## **INTRODUÇÃO: MEMÓRIAS E INQUIETAÇÕES SOBRE A TABELA PERIÓDICA**

O interesse por efeitos de sentidos possíveis na leitura de textos referentes a aspectos da construção da tabela periódica vem das minhas vivências em sala de aula, seja enquanto aluna ou enquanto professora. Desde o Ensino Médio tive uma facilidade grande com a disciplina de Química. Em relação à tabela periódica, sabia o nome das famílias, localizava os elementos com facilidade, sabia comparar o raio atômico, a energia de ionização, e outras propriedades entre diferentes elementos. Durante a graduação em Química, aprofundi meus conhecimentos acerca da estrutura dos elementos e compreendi melhor a importância da tabela periódica para essa Ciência.

Em meu primeiro ano como professora, ao preparar uma aula sobre tabela periódica, levei um susto quando vi um pequeno quadro no livro didático que falava sobre outras propostas de classificação dos elementos, anteriores a Mendeleev. O livro trazia algumas linhas sobre “As tríades de Döbereiner”, “O parafuso telúrico de Chancourtois” e as “As oitavas de Newlands”. Nesse momento, me dei conta que não sabia como Mendeleev, o “pai” da tabela periódica, havia construído sua tabela, muito menos sobre aquelas outras propostas. Também não sabia ao certo o que tinha mudado de Mendeleev até os dias de hoje. Foi um susto bem grande, que me mostrou que meu conhecimento sobre a tabela ainda era superficial: sabia usá-la, mas não sabia nada sobre sua história. Desde então, tenho buscado conhecer melhor esse artefato tão importante para a Química, e incluir um pouco da sua história em minhas aulas.

Em uma abordagem inicial com estudantes do Ensino Médio, passei a realizar trabalhos em grupo, nos quais cada um deveria pesquisar e apresentar para a turma uma das propostas de organização dos elementos químicos. No trabalho, deveriam constar as propriedades em que o cientista se baseou para organizar os elementos, e as semelhanças e diferenças com a tabela periódica moderna.

Passado um tempo, comecei a me interessar por abordagens de ensino que traziam a leitura de diferentes tipos textuais para as aulas de Ciências da Natureza, e a perceber as potencialidades de trabalhar com a leitura em aulas de Química. Também conheci alguns livros de divulgação científica que abordam a tabela periódica, como: “O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da Química” de Paul Strathern, “Tio Tungstênio: Memórias de uma infância química” de Oliver Sacks e “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, de Sam Kean.

Esses livros me chamaram a atenção, pois traziam diferentes olhares para a tabela periódica e histórias que ainda não conhecia.

Enquanto professora na Licenciatura em Química, no Instituto Federal da Bahia, campus Porto Seguro, tive a oportunidade de lecionar a disciplina “Metodologia e Prática do Ensino de Química”. Nesse momento, optei por trabalhar com os estudantes as possibilidades de utilização de diferentes tipos textuais no ensino, utilizando a tabela periódica como temática para os textos. Para tanto, resgatei passagens dos livros de divulgação científica, trechos de originais de cientistas que contribuíram com a construção da tabela periódica, textos jornalísticos e imagens de diferentes tabelas periódicas propostas ao longo do tempo. Notei nos estudantes uma surpresa ao verem e analisarem as diferentes tabelas e lerem os textos que levantavam questões desconhecidas para eles.

Essa pequena trajetória enquanto professora, levou-me a questionar sobre a abordagem que normalmente fazemos da Química em sala de aula, em especial do conteúdo tabela periódica. Um ensino que privilegia, do Ensino Médio à graduação, a memorização de informações sobre os elementos, que toma a tabela periódica como um conjunto de setas indicativas de tendências das propriedades químicas e como um produto da Ciência. Entretanto, isso não basta para compreender a grande quantidade de substâncias presentes ao nosso redor, nem como elas se comportam. Ao mesmo tempo, perceber a tabela periódica como uma construção de muitos cientistas, feita ao longo de vários anos e que ainda é possível sofrer modificações, amplia nosso olhar para a tabela e para a própria ideia de Ciência. Ao nos deslocarmos de um ensino reprodutor de conteúdos, em direção a novas leituras e olhares para a Ciência, abrimos horizontes e possibilidades.

Diante dessas experiências, vieram algumas inquietações: como abordar a tabela periódica de forma que ela faça mais sentido para os estudantes? Como trabalhar com diferentes tipos textuais em sala de aula? Quais os limites e possibilidades de trabalhar a leitura em aulas de Química? De que forma trabalhar o conteúdo aliado a uma abordagem um pouco mais histórica? Como trazer essas questões para a formação inicial de professores de Química? Essas e outras inquietações me moveram até aqui e me motivaram no desenvolvimento deste trabalho.

A importância do estudo da tabela periódica reside no fato de que ela se constitui em uma construção científica valiosa para os químicos, pois permite compreender características fundamentais dos elementos, aliando a estrutura interna dos átomos às suas

propriedades observadas experimentalmente. Isto porque ela está organizada de forma que os elementos de mesma configuração eletrônica na camada de valência, e que, de forma geral, exibem propriedades químicas semelhantes, se agrupam em uma mesma coluna. Assim, a tabela periódica organiza todos os elementos químicos conhecidos em uma construção que mostra que há uma ordem no mundo material. A importância da tabela periódica também foi reconhecida pela Organização das Nações Unidas (ONU), que proclamou o ano de 2019 como o Ano Internacional da Tabela Periódica, em referência aos 150 anos da publicação da primeira tabela organizada por Dimitri Mendeleev (1834 – 1907).

Entretanto, pensando o ensino da tabela periódica, podemos dizer que há um descompasso entre a sua importância e a abordagem que dela é feita. Cunha, Peres e Stanzani (2014) destacam que o ensino da tabela periódica prioriza a distribuição eletrônica, a organização em grupos e períodos e a observação das propriedades periódicas a partir do uso de setas indicativas de tendências. Além disso, aparece como o fruto do que é considerado a mente brilhante de Mendeleev, omitindo o processo histórico de sua construção. Assim, os autores mostram que é feita uma abordagem superficial e utilitária, que visa à resolução de exercícios, não proporciona o entendimento das propriedades dos elementos e nem uma compreensão epistemológica da Ciência.

Analisando o processo de construção da tabela, notamos que, até chegar à tabela periódica moderna, houve um longo percurso, com idas e vindas, a partir das contribuições de diversos cientistas. Nesse caminho, destacamos neste trabalho a década de 1860 como frutífera para a sua elaboração. Entretanto, antes de Dimitri Mendeleev publicar a sua primeira versão em 1869, outros cientistas apresentaram diferentes formas de organização dos elementos que ora guardam semelhanças com a tabela atual, ora se afastam. Após Mendeleev, muitos elementos foram encontrados ou sintetizados e acrescentados à tabela, dos quais destacamos neste trabalho a família dos gases nobres e os elementos transurânicos. Além disso, a tabela também sofreu mudanças com relação ao critério de ordenação, que hoje se dá em função do número atômico e não mais da massa dos elementos.

Apesar do processo de elaboração da tabela periódica ser longo, em muitos livros didáticos os aspectos históricos são apresentados de forma resumida e em quadros separados do restante do conteúdo, o que limita as abordagens em sala de aula. Mehlecke (2010) analisou o capítulo referente ao conteúdo tabela periódica em seis livros didáticos de Química indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) no ano 2007,

com base em critérios relacionados à História e Filosofia da Ciência. A autora aponta que, de forma geral, o contexto histórico fica restrito a recortes e figuras, ou é apresentado no início do capítulo, sem uma relação com o texto que explica a tabela. Por este motivo, cria-se uma fronteira entre a parte histórica e o “conteúdo em si”, que são vistos de forma dissociada. Aspectos pontuais são frequentemente abordados, mas aqueles que demandam contraposição de ideias e uma maior reflexão não são explorados.

A ausência de uma abordagem histórica nos livros didáticos é apontada por Trindade et al. (2010) como o maior empecilho para sua inclusão em sala de aula. Segundo os autores, os livros didáticos geralmente apresentam os aspectos históricos de forma separada dos conteúdos, como curiosidades ou anedotas, e a partir de biografias de cientistas considerados “pais” da Ciência, o que não contribui para a compreensão dos processos de construção da Ciência, levando a visões equivocadas.

Essa abordagem reflete uma perspectiva historiográfica denominada tradicional, que narra a história do conhecimento somente a partir de ideias consideradas corretas do ponto de vista atual, considerando o restante como grandes erros. Assim, transmite-se a ideia de um caminho certo para o conhecimento, que se desenvolveu de forma progressiva, sem retrocessos ou rupturas (BELTRAN, 2013; TRINDADE et al., 2010). Tomando de forma específica a forma como a história da tabela periódica é, por vezes, abordada, observamos que ela reflete essa perspectiva tradicional, visto que não ressalta conhecimentos e propostas que serviram de base para a tabela de Mendeleev, e nem as transformações que sofreu desde então.

Por outro lado, propostas de ensino articuladas à História da Ciência (HC) devem considerar tanto as rupturas quanto as continuidades, tanto os aspectos internos, conceitos e teorias, quanto os aspectos externos – políticos, sociais, econômicos, etc. Assim, a inserção de aspectos históricos no ensino pode levar os estudantes a compreender como o conhecimento é uma construção social, ou seja, que não se desenvolve isolado da sociedade, suas necessidades e conflitos (TRINDADE et al., 2010). Para Höttecke e Silva (2011), a HC ajuda a compreender a Ciência como um processo, rompendo com a ideia de um conhecimento pronto e promove uma compreensão sobre as características da Ciência.

Ao buscar formas de inserir a HC no ensino, Zanotello (2011), apoiado em diferentes autores, aponta a leitura de textos escritos pelos próprios cientistas, denominados originais de cientistas. Tais textos podem “propiciar novas formas de se pensarem as questões discutidas nos livros-texto convencionais, que, em geral, não

apresentam a argumentação histórica da construção conceitual.” (ZANOTELLO, 2011, p. 991). Para este autor, os textos originais de cientistas permitem uma aproximação do contexto de desenvolvimento do conhecimento científico, levando a uma compreensão maior da natureza da Ciência. Zanotello (2011) aponta, ainda, que tais textos podem enfatizar aspectos conceituais e metodológicos, ao invés da linguagem matemática, o que contribui para um maior envolvimento na leitura. Além disso, pode transparecer dúvidas e incertezas, o que rompe com a imagem de infalibilidade da Ciência e dos cientistas.

Segundo Zanotello e Almeida (2013), os textos de divulgação científica também podem contribuir para a discussão de aspectos históricos e para a compreensão sobre como a Ciência, o desenvolvimento tecnológico e a sociedade se relacionam. Os textos de divulgação científica apresentam-se sobre vários suportes: livros, revistas e jornais, séries de televisão, entre outros, os quais, segundo Nascimento (2008), podem ser escritos por jornalistas ou pelos próprios cientistas. Como são voltados para um público não especializado, abordam aspectos científicos com uma linguagem usualmente mais simples, facilitando sua leitura. Entretanto, a divulgação científica pode apresentar informações distorcidas, reforçando concepções equivocadas, o que demanda uma análise criteriosa da mesma.

Assim, com base no exposto, podemos notar que muitos textos de divulgação científica e originais de cientistas possibilitam discussões sobre os conhecimentos científicos e suas características. Tais textos apresentam, muitas vezes, uma linguagem mais simples e fogem do formalismo matemático. Esses aspectos trazem para esses textos um grande potencial para leitura em sala de aula.

A prática da leitura no ensino de ciências é uma preocupação observada no Brasil pelo menos desde os anos 1990. Almeida e Ricon (1993) discutem algumas possibilidades a partir da inserção de textos de divulgação científica e literário em aulas de Física, defendendo, para além da aprendizagem de conceitos científicos, a incorporação do hábito de leitura. Desde então, tem-se um aumento no número de publicações que visam compreender o funcionamento da leitura de diferentes tipos textuais nas aulas de ciências, em diferentes níveis de ensino. Nesse contexto, Flôr e Cassiani (2011) trazem a preocupação em compreender os efeitos de sentidos possibilitados através da leitura de divulgação científica, originais de cientistas, literatura, histórias em quadrinhos, entre outros. Há, também, uma preocupação com a formação do leitor, contribuindo para que a leitura se torne uma atividade cotidiana dos indivíduos.

Com base no exposto até o momento, notamos que o ensino da tabela periódica da forma como muitas vezes é feito, contribui para uma visão limitada do estudante sobre a própria tabela periódica e a sua elaboração. Seu ensino valoriza a memorização de informações e toma a tabela somente como instrumento que está dado, desconsiderando sua construção e em descompasso com sua importância. Por outro lado, acreditamos que os textos de divulgação científica e os chamados originais de cientistas podem desenvolver aspectos relacionados ao conhecimento científico, contribuindo de forma positiva para a aprendizagem dos estudantes. Ao mesmo tempo, a leitura em sala de aula de diferentes tipos textuais pode motivar a construção de conhecimentos, desfazer visões equivocadas de Ciência e contribuir para a formação do leitor.

Com base no exposto, propusemos realizar inicialmente uma pesquisa com estudantes do Ensino Médio e da Licenciatura em Química, com o objetivo de investigar os sentidos construídos por eles sobre a Tabela Periódica, a partir da leitura de textos originais de cientistas e de divulgação científica. Entretanto, em março de 2020, o mundo como conhecíamos foi mudado pela pandemia causada pelo coronavírus. De repente, as aulas foram suspensas, as ruas ficaram vazias e nos isolamos em nossas casas. Aos poucos, as aulas retornaram em um novo formato, o ensino remoto, no qual o ensinar e aprender passou a ser mediado por telas, ambientes virtuais de aprendizagem, salas online para encontros síncronos, recursos tecnológicos etc. Assim, os professores tiveram que aprender uma nova forma de ensinar, de comunicar, de avaliar. Nesse contexto de mudanças e aprendizagens docentes, a pesquisa precisou se readaptar, pois investigar uma sala de aula em um formato online seria uma nova pesquisa, e não a que havíamos proposto inicialmente. Desta forma, optamos por aprofundar nossas leituras e levantar possibilidades e sentidos que emergem de um texto de divulgação científica e um original de cientista sobre a tabela periódica.

Assim, apresentamos neste trabalho uma análise de dois textos referentes à construção da tabela periódica. Para tanto, selecionamos o livro de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, de Sam Kean. A escolha se deu por ser um livro de fácil acesso e conhecido entre professores e estudantes. Além disso, por meio da revisão de literatura, encontramos um trabalho (TARGINO; GIORDAN, 2015) que apontou características que podem ser exploradas, como a narrativa de descoberta de diferentes elementos químicos, as controvérsias entre cientistas, e as possibilidades de abordagem da lei periódica. Como texto original de cientista, selecionamos “*The periodic law of the Chemical elements*”,

uma conferência apresentada por Mendeleev em 1889. Escolhemos esse texto porque nele o próprio Mendeleev narra os caminhos que seguiu para a construção de sua proposta.

Neste trabalho, nos fundamentamos teórica e metodologicamente na Análise de Discurso (AD) de linha francesa, na vertente que teve como um de seus precursores Michel Pêcheux, a qual nos permite compreender o discurso como “efeito de sentidos entre interlocutores” (ORLANDI, 2012a, p. 21). Assim, não consideramos que os sentidos estão fixados à palavra, mas decorrem da interação entre os sujeitos e das condições em que os discursos são produzidos. Assim, a partir da leitura dos textos selecionados, procuramos compreender os efeitos de sentidos possíveis sobre a tabela periódica e sua construção que podem ser inferidas a partir dos discursos presentes em tais textos.

Deste modo, temos os objetivos de:

- Compreender as possibilidades e limites de produção de efeitos de sentidos sobre a tabela periódica a partir da leitura de textos de divulgação científica e originais de um cientista.

- Estabelecer possibilidades de articulação entre os efeitos de sentidos possíveis para a classificação dos elementos químicos e a construção da tabela periódica presentes em tais textos.

Com base no exposto, trazemos a seguinte questão para nos guiar neste estudo: Como a leitura de um texto de divulgação científica e um original de cientista sobre a tabela periódica pode contribuir para a produção de efeitos de sentidos sobre esse artefato?

Para nos guiarmos nos caminhos desta pesquisa, organizamos este trabalho da forma apresentada a seguir.

No capítulo um, trazemos uma apresentação sobre a importância da tabela periódica no contexto da Química, bem como de conceitos a ela relacionados. Assim, mostramos como ela se liga à estrutura eletrônica dos átomos e com as propriedades periódicas, e como estas influenciam nas características das substâncias. Também trazemos nesse capítulo um panorama da construção da tabela periódica, mostrando como diferentes conhecimentos e tecnologias possibilitaram o seu desenvolvimento. Nesse percurso, apontamos a década de 1860 como um momento em que diferentes cientistas apresentaram suas ideias, desenvolvidas, muitas vezes, sem o conhecimento uns dos outros. Por fim, apontamos algumas modificações que a tabela periódica sofreu após essa década.

No segundo capítulo, apresentamos uma revisão de literatura na qual procuramos conhecer as abordagens que são feitas da tabela periódica na pesquisa no ensino de Química. Notamos que a maior parte dos trabalhos se concentram em desenvolver atividades de ensino de conceitos relacionados à tabela, tendo destaque o desenvolvimento de jogos. Por outro lado, são poucas as abordagens que privilegiam os aspectos históricos e que associam este conteúdo à leitura. Também chama a atenção que, a partir dos critérios estabelecidos para a revisão, somente um trabalho foi desenvolvido na formação inicial de professores de Química.

No capítulo três, trazemos os referenciais teóricos e metodológicos da pesquisa, que se baseiam na Análise de Discurso pecheutiana, especialmente nos trabalhos de Eni Orlandi. Assim, apresentamos algumas noções básicas da AD que norteiam o trabalho. Também discutimos a leitura em interface com o ensino de ciências, e apresentamos alguns aspectos teóricos referentes aos textos originais de cientistas e de divulgação científica. No capítulo quatro, construímos o dispositivo analítico, o qual nos permitiu interpelar os discursos buscando compreender como eles significam.

No capítulo cinco, trazemos as análises de trechos do livro de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, de Sam Kean, e do texto original de cientista, “*The periodic law of the Chemical elements*”, de autoria de Dimitri Mendeleev. Nesse capítulo, refletimos sobre os sentidos produzidos para a tabela periódica a partir das leituras, propondo articulações entre os critérios de organização dos elementos, a construção desse artefato e as características da Ciência que emergem das leituras. Por fim, tecemos as considerações finais, apontando as contribuições deste trabalho e as lacunas que ainda precisam ser preenchidas.

## 1 A TABELA PERIÓDICA

A tabela periódica dos elementos é uma das grandes generalizações da Ciência, pois nela estão ordenados os elementos que formam a infinidade de substâncias que nos cercam. Ela constitui um guia para pesquisas nas mais diversas áreas e um importante artefato para o aprendizado da Química, e está presente não só em salas de aula, mas em laboratórios de pesquisa, indústrias, dentre outros. Dada sua relevância, o ano de 2019 foi eleito pela ONU como o Ano Internacional da Tabela Periódica, em alusão aos 150 da primeira publicação de Dimitri Mendeleev. Desde então, ela passou por inúmeras atualizações e se consolidou como “a mais importante ferramenta que os químicos usam para organizar e lembrar fatos químicos” (BROWN et al., 2005, p. 41).

A tabela periódica, apresentada na Figura 1, é entendida por Brown (2005, p. 41) como “a organização dos elementos em ordem crescente de número atômico com elementos tendo propriedades similares colocados nas colunas verticais”. Desta forma, é capaz de agrupar os elementos a partir de suas propriedades químicas e físicas, as quais se repetem após certos intervalos de números atômicos. Segundo Scerri (2007), a tabela periódica corresponde a uma representação gráfica da lei periódica, que assume que após certos intervalos os elementos exibem propriedades semelhantes, como raio atômico, energia de ionização, afinidade eletrônica, entre outras.

Figura 1: Versão atual da Tabela Periódica dos Elementos Químicos.

**Tabela periódica**



1 H hidrogênio 1,008	2 He hélio 4,0026											13 B boro 10,81	14 C carbono 12,011	15 N nitrogênio 14,007	16 O oxigênio 15,999	17 F flúor 18,998	18 Ne neônio 20,180
3 Li lítio 6,94	4 Be berílio 9,0122											13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,085	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,95
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305	3 Sc escândio 44,956	4 Ti titânio 47,867	5 V vanádio 50,942	6 Cr cromio 51,996	7 Mn manganês 54,938	8 Fe ferro 55,845(2)	9 Co cobalto 58,933	10 Ni níquel 58,693	11 Cu cobre 63,546(3)	12 Zn zinc 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromio 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinc 65,38(2)	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio	44 Ru rútenio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	81 Tl talho 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio	85 At astato	86 Rn radônio
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57 a 71 Lanthanides	72 Hf hafnio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os osmio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	113 Nh nihônio	114 Fl fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tennesso	118 Og oganessônio
87 Fr frâncio	88 Ra rádio	89 a 103 Actinides	104 Rf rutherfordório	105 Db dúbnio	106 Sg seabórgio	107 Bh bóhrio	108 Hs hássio	109 Mt meitnério	110 Ds darmstádio	111 Rg roentgênio	112 Cn copernício	113 Nh nihônio	114 Fl fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tennesso	118 Og oganessônio
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio	62 Sm samário 150,36(3)	63 Eu europio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm tulio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97			
89 Ac actínio	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np neptúmio	94 Pu plutônio	95 Am américio	96 Cm cúrio	97 Bk berquélio	98 Cf califórnio	99 Es einstênio	100 Fm fêrmio	101 Md mendelévio	102 No nobélio	103 Lr laurêncio			

www.tabelaperiodica.org  
Licença de uso Creative Commons BY-NC-SA 4.0 - Use somente para fins educacionais  
Caso encontre algum erro favor avisar pelo mail [luisbrunod@gmail.com](mailto:luisbrunod@gmail.com)

Versão IUPAC/SBQ (pt-br) com 5 algarismos significativos, baseada em DOI:10.1515/pac-2015-0305 - atualizada em 19 de março de 2019

Fonte: Tabela Periódica, ([s.d.]).

Para um melhor entendimento sobre a estrutura e organização da tabela periódica, abordamos inicialmente neste capítulo alguns conceitos químicos importantes para a compreensão de seu significado. Em seguida, trazemos um panorama histórico de seu desenvolvimento, levantando fatores que propiciaram a sua elaboração, bem como algumas propostas que nos levaram à tabela periódica atual. Destacamos que não temos por finalidade olhar para esse processo com o objetivo de indicar pontos “certos” e “errados” a partir dos conhecimentos que temos hoje. Também não pretendemos esgotar e percorrer toda essa história, visto que são múltiplos os caminhos que nos trouxeram até aqui. Assim, este capítulo se propõe a uma reflexão sobre a importância da tabela periódica para a Química.

### 1.1 TABELA PERIÓDICA: CONCEITOS E IMPORTÂNCIA

Para compreendermos como a tabela periódica está organizada, bem como seu caráter preditivo, precisamos primeiro entender o que é um elemento químico, definido como um conjunto de átomos com o mesmo número de prótons. Na tabela periódica, Figura 1, estão listados os 118 elementos conhecidos atualmente. O átomo, por sua vez, é definido como “a menor partícula de um elemento que tem as propriedades químicas do elemento” (ATKINS; JONES, 2012, p. 829), ou seja, o átomo é a unidade fundamental da matéria. O que diferencia um átomo do outro é o número de prótons presente no núcleo, propriedade denominada número atômico. Os átomos são partículas divisíveis e, aqui, iremos abordá-los a partir das três principais partículas subatômicas: prótons, nêutrons e elétrons.

De forma simplificada, o modelo atômico atual compreende o elétron se comportando de maneira dual, ora como onda ora como partícula, como proposto por Louis De Broglie (1892 – 1987). A dualidade onda-partícula elimina a possibilidade de se saber simultaneamente a posição e a velocidade de um elétron, conforme enunciado pelo princípio da incerteza, proposto por Werner Heisenberg (1901 – 1976). Assim, Erwin Schrödinger (1887 – 1961) propôs uma nova abordagem para a matéria, a mecânica quântica. Schrödinger desenvolveu uma equação que permite calcular a função de onda de determinada partícula, representada pela letra grega  $\psi$ , a qual descreve o comportamento ondulatório do elétron. O quadrado dessa função,  $\psi^2$ , denominado densidade de probabilidade, é interpretado como a probabilidade de localizar o elétron

em determinada região do espaço, em determinado instante. Assim, o modelo atômico atual é um modelo probabilístico, ou seja, não é possível determinar a posição exata de um elétron, mas trabalha-se com a probabilidade dele ser encontrado em determinada região do espaço (ATKINS; JONES, 2012).

Neste texto, apresentaremos a estrutura da matéria a partir do modelo nuclear do átomo. Embora não seja o entendimento mais atual, para a finalidade desta seção, de compreender a relação entre a estrutura da matéria e a tabela periódica, ele é suficiente.

Estruturalmente, a partir do modelo nuclear do átomo, este é composto por núcleo e eletrosfera. No núcleo estão presentes partículas de carga positiva, os prótons, e partículas eletricamente neutras, os nêutrons. Juntos, prótons e nêutrons correspondem a praticamente toda a massa do átomo, e a soma dessas quantidades é denominada número de massa, simbolizado pela letra A. Ao redor do núcleo está a região da eletrosfera, habitada por elétrons, que são partículas de carga negativa e massa quase 2 mil vezes menor que a dos prótons e nêutrons. Os elétrons encontram-se afastados uns dos outros, sendo a maior parte da eletrosfera composta por espaços vazios, e com um tamanho cerca de cem mil vezes maior do que o núcleo. Assim, enquanto o núcleo concentra a massa do átomo, seu tamanho é definido pela eletrosfera. Embora apresente partículas de carga positiva e negativa, um átomo contém o mesmo número de prótons e elétrons, resultando em sua neutralidade. Entretanto, pode ganhar ou perder elétrons, formando um ânion ou um cátion, respectivamente, mas o número de prótons permanece constante, mantendo a identidade do elemento (ATKINS; JONES, 2012).

Ainda com relação aos átomos, destacamos que o número de prótons presente no núcleo atômico recebe o nome número atômico, simbolizado pela letra Z. Átomos de um mesmo elemento químico apresentam o mesmo número atômico, e átomos de elementos químicos diferentes, diferem nessa propriedade. Por este motivo, o número atômico é a grandeza utilizada atualmente para identificar os elementos químicos. Um mesmo elemento químico pode ter diferentes números de nêutrons no núcleo, resultando em números de massa diferentes. Essas espécies são denominadas isótopos (ATKINS; JONES, 2012).

Ao percorrermos a tabela periódica, apresentada na Figura 1, encontramos 118 células, e em cada uma está representado um tipo de elemento químico. Cada célula apresenta o símbolo do elemento, Li, por exemplo, o seu nome, lítio. No alto da célula, está o número atômico, 3 no caso do lítio; na parte inferior da célula está a massa atômica, 6,94u (unidade de massa atômica) para este elemento. Esse valor corresponde à média

ponderada das massas atômicas dos vários isótopos de um elemento. Esse mesmo valor também corresponde à massa em gramas de um mol ( $6,02 \cdot 10^{23}$  unidades) de átomos de determinado elemento.

Ao percorrer as linhas horizontais da tabela periódica, encontramos os elementos organizados em ordem crescente de número atômico. Cada uma dessas linhas horizontais é denominada período, e são numeradas de cima para baixo, de 1 a 7. As colunas verticais são denominadas grupos ou famílias, sendo numeradas de 1 a 18, como mostrado na Figura 1 (BROWN et al., 2005). Ainda é possível encontrar tabelas com a numeração das colunas divididas em A e B. Nelas, os elementos denominados representativos, os blocos indicados pelas cores verde e amarelo na Figura 1, são numerados de 1 a 8, seguidos pela letra A: 1A, 2A até 8A. Os elementos de transição, indicados em vermelho, são numerados de 1 a 10, seguidos pela letra B. Essa representação foi substituída pela contagem de 1 a 18 em 1988, pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) (TOMA, 2019).

Na Figura 1, trazemos a versão mais atual da tabela periódica, com os 118 elementos conhecidos até o momento. Tudo que temos à nossa volta é composto por esses elementos, que possuem as mais diferentes características, podendo ser encontrados na natureza ou somente sintetizados pelo homem. Por trás de cada um tem-se uma história que culminou em seu isolamento, além de diferentes aplicações na sociedade. Conhecer as propriedades dos elementos torna-se mais fácil a partir da leitura da tabela periódica, isso porque ela não está organizada de forma aleatória, mas reflete as características e estrutura dos próprios elementos.

### 1.1.1 TABELA PERIÓDICA E ESTRUTURA ELETRÔNICA DOS ÁTOMOS

Observando hoje a tabela periódica, notamos que a posição dos elementos está diretamente relacionada à estrutura interna dos átomos, especificamente à distribuição dos elétrons pela eletrosfera. Destacamos que essa relação não era conhecida pelos químicos que propuseram as primeiras tabelas periódicas. Em um modelo simplificado para o átomo, os elétrons encontram-se distribuídos em níveis com valores definidos de energia, com cada um abrigando uma determinada quantidade de elétrons. Ao nível mais externo é dado o nome de camada de valência. Consideramos, ainda, que cada nível eletrônico está dividido em subníveis de energia, os quais são designados pelas letras s, p, d e f. À distribuição dos elétrons em níveis e subníveis damos o nome de configuração

eletrônica<sup>1</sup> (BROWN et al., 2005).

Observando os elementos de um mesmo período, temos que todos possuem os elétrons distribuídos em um mesmo número de camadas eletrônicas. Assim, os elementos sódio e magnésio, localizados no terceiro período, possuem seus elétrons distribuídos em três níveis, enquanto potássio e cálcio, localizados no quarto período, exibem quatro níveis eletrônicos. Comparando os elementos sódio e potássio, presentes na primeira coluna, grupo 1, notamos que ambos possuem somente um elétron na camada de valência. Já os elementos magnésio e cálcio, grupo 2, possuem 2 elétrons em sua camada de valência. Assim, tomando os elementos de um mesmo grupo, observamos que todos possuem o mesmo número de elétrons na camada de valência, o que confere a esses elementos certas similaridades em suas propriedades físicas e químicas (ATKINS; JONES, 2012). Destacamos que essa regularidade é observada nos elementos representativos, ocorrendo exceções nos metais de transição.

Quando determinamos a configuração eletrônica de um elemento, ou seja, quando distribuímos seus elétrons em níveis e subníveis de energia, a relação entre a estrutura interna dos elementos e a sua posição na tabela periódica fica evidente. O elemento lítio, por exemplo,  $Z = 3$ , possui distribuição eletrônica igual a  $1s^2 2s^1$ . Nessa representação, o número à frente de cada letra indica o nível em que o elétron está, e o algarismo sobrescrito após a letra mostra quantos elétrons estão em cada subnível. Assim, para o átomo de lítio, temos dois níveis eletrônicos (1 e 2), com dois elétrons no primeiro e um elétron no segundo. Ao número de níveis eletrônicos, relacionamos o período em que o elemento está localizado na tabela, e ao número de elétrons na sua última camada, a família. Assim, o elemento lítio está localizado no segundo período da família 1.

A distribuição eletrônica do átomo de flúor ( $Z = 9$ ) é:  $1s^2 2s^2 2p^5$ , ou seja, esse elemento possui os elétrons distribuídos em dois níveis e, no segundo, possui sete elétrons (dois no subnível s e cinco no subnível p). Como pode ser visto na tabela periódica, o flúor encontra-se no segundo período e na família 17, a qual agrupa elementos com 7 elétrons na camada de valência.

Quando é feita a distribuição eletrônica dos demais elementos da tabela periódica, observa-se que esse padrão se repete: os elementos de configuração eletrônica semelhante na camada de valência estão em uma mesma família, salvo exceções principalmente nos blocos d e f. Assim, na família 1, os elementos têm sua configuração eletrônica terminada

---

<sup>1</sup> Mais informações podem ser encontradas em Atkins e Jones (2012), na seção 1.13.

em  $s^1$ , e na família 2 em  $s^2$ . No bloco d, a configuração eletrônica dos elementos irá terminar em  $d^1, d^2, d^3, \dots, d^{10}$ . Já os elementos do bloco p terão sua configuração eletrônica terminando em  $p^1, p^2, \dots, p^6$ ; e no bloco f, variando de  $f^1$  a  $f^{14}$ . De forma semelhante, em uma mesma linha estão agrupados elementos que possuem uma mesma quantidade de níveis eletrônicos. Dessa forma, observamos que a posição dos elementos na tabela periódica reflete a sua configuração eletrônica, e a tabela periódica pode ser usada como um guia para essa distribuição (BROWN et al., 2005).

Observando a tabela apresentada na Figura 1, vemos que ela está dividida em quatro grupos, representados por cores diferentes, os quais refletem a distribuição eletrônica dos elementos. Na cor verde, está o bloco s; em amarelo, o bloco p; em vermelho, o bloco d; e em roxo está o bloco f. Assim, os blocos de elementos recebem a designação de acordo com o último subnível energético preenchido.

O bloco s, é formado pelas famílias 1 e 2, denominadas metais alcalinos e metais alcalino-terrosos, respectivamente. Esses metais são sólidos à temperatura ambiente, mas possuem baixos pontos de fusão. São macios e brilhantes, e reagem vigorosamente, especialmente o grupo 1. Quando reagem com a água, os metais alcalinos produzem gás hidrogênio de forma vigorosa e que se intensifica à medida que reagem os elementos que estão localizados mais abaixo na família. Em amarelo na Figura 1, está o bloco p, que reúne metais e ametais (localizados na extremidade direita). Na última coluna, estão os gases nobres, família que recebe esse nome devido à sua baixa reatividade. Como esses elementos possuem oito elétrons na camada de valência, eles são estáveis e, portanto, têm baixa tendência a reagir. A coluna 17 é denominada halogênios, e agrupa elementos que exibem grande tendência em receber os elétrons. Os blocos s e p são denominados elementos representativos (ATKINS; JONES, 2012).

Ao centro da tabela, em rosa, está o bloco d, denominado metais de transição. Esses metais recebem esse nome por terem propriedades intermediárias entre os metais do bloco s, que reagem vigorosamente, e os do bloco p, à sua direita, que são menos reativos. As duas séries em roxo são denominadas metais de transição interna e correspondem ao bloco f. Por questão de economia de espaço esses elementos foram alocados em duas fileiras abaixo da tabela. A linha superior é chamada de lantanídeos e a inferior actinídeos, em referência ao elemento que inicia cada uma delas, lantânio e actínio, respectivamente (ATKINS; JONES, 2012). Uma versão longa da tabela periódica, na qual as séries dos lantanídeos e actinídeos são adicionadas entre o bloco s e d, é apresentada na Figura 2, abaixo.

Figura 2: Versão longa da Tabela Periódica.

1 H 1.00794																	2 He 4.002602														
3 Li 6.941	4 Be 9.012182											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.00643	8 O 15.999	9 F 18.998403	10 Ne 20.1797														
11 Na 22.98976928	12 Mg 24.304											13 Al 26.9815386	14 Si 28.08558	15 P 30.973762	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948														
19 K 39.0983	20 Ca 40.078											21 Sc 44.955912	22 Ti 47.88	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938045	26 Fe 55.845	27 Co 58.933195	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.630	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798				
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62											39 Y 88.905848	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc 98.90625	44 Ru 101.07	45 Rh 102.9055	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.757	52 Te 127.6	53 I 126.905	54 Xe 131.29				
55 Cs 132.90545196	56 Ba 137.327	57 La 138.90547	58 Ce 140.12	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.242	61 Pm 144.91288	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92532	66 Dy 162.5001	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93032	70 Yb 173.0547	71 Lu 174.967	72 Hf 178.49	73 Ta 180.94788	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.222	78 Pt 195.084	79 Au 196.966569	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.9804	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222
87 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227	90 Th 232.0377	91 Pa 231.03688	92 U 238.02891	93 Np 237.04817	94 Pu 239.052163	95 Am 243.061389	96 Cm 247.0713	97 Bk 247.0713	98 Cf 251.0832	99 Es 252.0832	100 Fm 257.1037	101 Md 258.1037	102 No 262.1098	103 Lr 260.1098	104 Rf 261.1098	105 Db 262.1098	106 Sg 266.1098	107 Bh 264.1098	108 Hs 269.1098	109 Mt 268.1098	110 Ds 271.1098	111 Rg 272.1098	112 Cn 285.1098	113 Uut 284.1098	114 Fl 289.1098	115 Uup 288.1098	116 Lv 293.1098	117 Uus 294.1098	118 Uuo 294.1098

Fonte: Powner (2020).

Segundo Brown et al. (2005), de forma geral os elementos podem ser classificados em metais, não metais e metaloides. Um metal conduz calor e eletricidade, tem brilho característico, é maleável e dúctil. São sólidos à temperatura ambiente, com exceção do elemento mercúrio, e apresentam de forma geral elevados pontos de fusão. Os metais compreendem os elementos dos blocos s, d, f e alguns elementos mais à esquerda do bloco p. Quando reagem, os metais têm maior tendência em formar íons de cargas positivas, denominados cátions.

À medida em que se caminha para o lado direito da tabela, ocorre uma diminuição do caráter metálico dos elementos, prevalecendo propriedades de ametais. Assim, à direita da tabela, estão localizados os não metais: elementos que não possuem brilho, não conduzem corrente elétrica, não são dúcteis e nem maleáveis. Eles possuem uma tendência em ganhar elétrons em reação. Entre esses dois grupos, estão os elementos boro, silício, germânio, arsênio, antimônio, telúrio e polônio, que possuem características intermediárias entre metais e não metais, podendo ser chamados de metaloides (BROWN et al., 2005).

A partir da localização dos elementos podemos dizer se este possui caráter metálico ou não, sobre a sua tendência em reagir, quais compostos é capaz de formar e quão vigorosa é essa reação. Como a posição dos elementos está associada à distribuição eletrônica, a tabela consegue relacionar a estrutura interna dos elementos com as suas propriedades observadas experimentalmente. Por esses motivos, para alguns químicos “a Tabela Periódica é um sumário muito útil das propriedades dos elementos” (ATKINS; JONES, 2012, p. F20).

Até o momento, nos detivemos na relação entre a estrutura interna dos elementos e sua posição na tabela periódica, apresentando as características desses grupos de elementos. A seguir, iremos explorar a relação entre a posição do elemento e as propriedades observadas experimentalmente, conhecidas como propriedades periódicas.

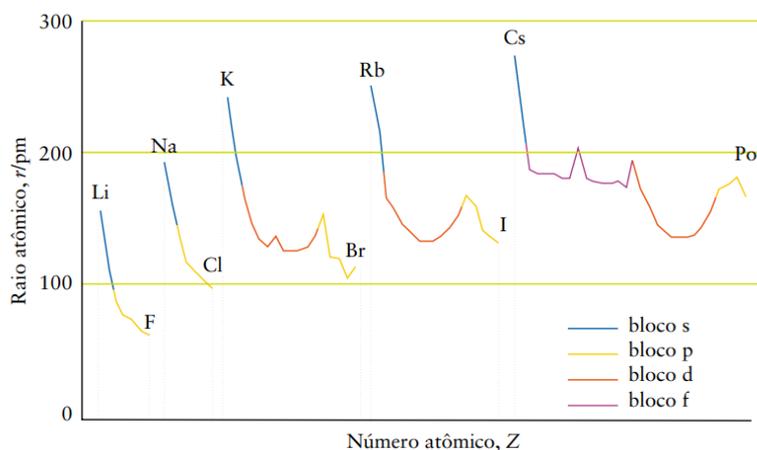
### 1.1.2 TABELA PERIÓDICA E PROPRIEDADES PERIÓDICAS

Até o momento, observamos que a organização da tabela periódica reflete uma periodicidade na configuração eletrônica dos elementos, a qual se reflete em suas características. De forma semelhante, observamos tendências regulares também nas propriedades dos elementos, as chamadas propriedades periódicas. Neste trabalho, iremos exemplificar essa tendência observando o comportamento do raio atômico dos elementos.

Para compreender as propriedades dos elementos, precisamos analisar a força de atração que o núcleo exerce sobre os elétrons presentes na eletrosfera. Pensando em termos da força elétrica entre cargas positivas e negativas, temos que à medida que essas cargas aumentam em intensidade, haverá uma maior atração entre elas, e quanto mais distantes as cargas estiverem, menor será a força de atração. Pensando o átomo, cada elétron é atraído pelo núcleo, e a força dessa atração depende da carga nuclear e da distância entre as cargas. Assim, se compararmos um elétron presente no primeiro nível eletrônico com outro no quarto nível, teremos uma maior força de atração do núcleo sendo exercida sobre o primeiro, devido à menor distância (BROWN et al., 2005).

A partir dessas considerações, podemos compreender o comportamento do raio atômico dos elementos ao longo da tabela. Embora os átomos não tenham contornos claros, quando se encontram ligados seus centros estão a distâncias definidas uns dos outros. Assim, o raio atômico pode ser entendido “como a metade da distância entre os núcleos de átomos vizinhos” (ATKINS; JONES, 2012, p. 39). Quando os raios atômicos dos diferentes elementos são comparados, é observada uma periodicidade nessa propriedade, como mostrado na Figura 3, abaixo.

Figura 3: Variação do raio atômico dos elementos em função do número atômico.



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 54).

Analisando a Figura 3, notamos que os elementos lítio, sódio, potássio, rubídio e céσιο, localizados no grupo 1 da tabela periódica, apresentam valores elevados de raio atômico. Após eles, os valores de raio decrescem até chegar respectivamente em flúor, cloro, bromo, iodo e polônio. Para nos movermos na tabela periódica do elemento lítio para o flúor, ou seja, da esquerda para a direita, seguimos o aumento do número atômico ao longo de um período, como aponta o eixo x do gráfico da Figura 3. Assim, a partir dos dados experimentais observados no gráfico, podemos concluir que em um mesmo período, à medida que ocorre um aumento no número atômico, há uma diminuição no tamanho do átomo.

Isso ocorre porque os elementos presentes em um mesmo período possuem o mesmo número de camadas eletrônicas. Assim, considerando somente esse fator, os elétrons da camada de valência estão a uma mesma distância do núcleo. Por outro lado, quando se aumenta o número de prótons, haverá uma maior atração sobre esses elétrons da camada de valência, resultando em uma diminuição do raio atômico. Desta forma, à medida que percorremos um período da esquerda para a direita, ocorre uma diminuição do raio atômico (BROWN et al., 2005). No gráfico da Figura 3, observamos que o decréscimo no valor do raio atômico em um mesmo período não ocorre de forma linear, mas são observados pequenos aumentos nessa tendência, seguido de nova queda. Assim, essa não é uma regra absoluta, mas uma tendência geral observada no comportamento dos elementos.

Tomando agora elementos presentes em uma mesma família, como lítio, sódio, potássio, rubídio e céσιο, por exemplo, vemos que há uma tendência de aumento do raio atômico com o aumento do número atômico. Isso ocorre porque à medida que descemos em um grupo de elementos da tabela periódica, há um aumento no número de níveis eletrônicos, levando a um aumento do raio atômico (BROWN et al., 2005).

A partir da análise do raio atômico dos elementos, podemos compreender a maior ou menor atração do núcleo pelos elétrons e, assim, compreender o ganho e a perda de elétrons. Essas propriedades, denominadas afinidade eletrônica e energia de ionização, também refletem a periodicidade da organização dos elementos. Entretanto, não iremos abordá-las neste texto por entendermos que a análise sobre o raio atômico demonstrou o princípio da periodicidade.

As propriedades periódicas refletem características dos elementos isolados, e determinam a forma como esses elementos se apresentam ligados a outros na natureza. Essas propriedades também nos ajudam a compreender o caráter metálico ou não dos

elementos. Por terem baixa energia de ionização, que é a energia necessária para arrancar um elétron de um átomo, os metais do bloco s perdem seus elétrons mais facilmente, sendo mais reativos do que os metais do bloco d. À medida em que caminhamos para o lado direito da tabela, o caráter metálico dos elementos diminui, prevalecendo propriedades de não metais. Os elementos do bloco p, exceto os gases nobres, têm maior tendência a receber elétrons, devido à elevada afinidade eletrônica.

Vimos, portanto, como a estrutura atômica está intimamente relacionada à organização da tabela periódica, a qual serve de guia para prevermos as propriedades dos elementos. Estas, por sua vez, definem o tipo de ligação química que será feito, bem como as propriedades das substâncias. Assim, ler a tabela periódica não se limita a saber nomes e símbolos dos elementos, mas permite compreender como os elétrons se organizam dentro dos átomos e como isso influencia as características dos elementos e compostos a nossa volta.

## 1.2 PERCURSOS DE CONSTRUÇÃO DA TABELA PERIÓDICA

Propomos agora apresentar alguns percursos de construção da tabela periódica. Um recorte porque sabemos que são vários os caminhos que nos conduziram à tabela atual, e não é o propósito deste trabalho abordar todos eles. Assim, a incompletude, condição própria à linguagem (ORLANDI, 1987), toma lugar neste texto. Incompleto porque no labirinto de raízes da tabela periódica se embarçam diferentes histórias, algumas já contadas muitas vezes e de diferentes formas, e outras que sequer foram mencionadas. Também é incompleto porque, no diálogo com outros textos, fazemos escolhas, optamos por interagir mais ou menos, por dizer e não dizer. Contar uma história, é contar uma versão. Outros sentidos sempre são possíveis.

A história da tabela periódica está intimamente relacionada à história dos elementos químicos e à própria ideia de elemento. À medida que novos elementos foram encontrados, as informações sobre eles foram acumuladas: peso, estado físico, afinidade química, entre outros. A partir de então, foi possível estabelecer correlações, buscar semelhanças e diferenças, organizá-los de acordo com diferentes critérios e interpretá-los à luz de princípios teóricos. Nesse processo, o entendimento sobre a estrutura da matéria se modificou, influenciando na forma como os elementos são organizados.

Segundo Lima, Barbosa e Filgueiras (2019), os primeiros elementos explorados pelo homem foram aqueles que estão em sua forma elementar na natureza: ouro, prata,

enxofre etc. Em seguida, vieram os metais que não necessitam de temperaturas muito elevadas para serem reduzidos em sua forma metálica a partir de seus minerais, como estanho, mercúrio, cobre e chumbo, e que poderiam ser obtidos ao se acender uma fogueira, por exemplo. Segundo Alfonso-Goldfarb (2016), a metalurgia do ferro foi desenvolvida em torno de 1300 – 1200 a.C., pelos hititas na região da Anatólia, na Ásia Menor. Por ser um processo que necessita de temperaturas maiores, foi necessário o desenvolvimento de fornos e outros procedimentos que permitiam a obtenção do ferro a partir da hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , óxido de ferro (III)).

No século XVI, compostos de arsênio, antimônio, estanho, chumbo e bismuto já eram conhecidos e utilizados na prensa de tipos móveis e em medicamentos, e o arsênio era conhecido por seu potencial venenoso. Os alquimistas também contribuíram na busca por novos elementos. Um deles, o alemão Hennig Brand (1630 – 1710), isolou o fósforo a partir da urina, em 1669, em busca de ouro (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

No percurso de construção da tabela periódica é muito importante o desenvolvimento da própria ideia de elemento químico, que começou a se aproximar do que entendemos hoje somente no final do século XVIII. Entretanto, as preocupações com a composição e transformações da matéria vêm desde os filósofos pré-socráticos. Empédocles (490 – 430 a.C.), por exemplo, usou a ideia de quatro elementos, ou princípios, que constituiriam toda a matéria: terra, água, ar e fogo, aos quais estariam associadas as características de seco, frio, úmido, quente. Essas ideias influenciaram o pensamento alquímico, que perdurou durante toda a Idade Média (ALFONSO-GOLDFARB et al., 2016).

Até então, uma grande quantidade de observações experimentais e conhecimentos vinham sendo acumulados. Em 1661, Robert Boyle (1627 – 1691) publicou o livro “O Químico cético” (*The Sceptical Chymist*), no qual compilou observações experimentais feitas por ele e por outros autores, especialmente alguns estudos sobre os gases. A partir destes, Boyle propôs que a matéria seria constituída por partículas extremamente pequenas, que podem se agregar de múltiplas formas, resultando nas substâncias que conhecemos (ALFONSO-GOLDFARB et al., 2016). Segundo Oki (2002), Boyle apresentou uma concepção moderna de elemento, como o limite que a análise química permite chegar. A partir dessas ideias iniciais, novos conceitos sobre a estrutura da matéria foram construídos.

Segundo Oki (2002), nos séculos XVII e XVIII, o termo elemento trazia uma definição operacional, se referindo aos limites da análise química. No século XIX, um

elemento passou a ser definido em função do peso atômico e da valência. Entretanto, a observação de átomos de um mesmo elemento químico com pesos atômicos diferentes, denominados isótopos, bem como os avanços na investigação sobre a estrutura da matéria, levou à identificação dos elementos químicos a partir de seu número atômico. Importante destacar que esses diferentes entendimentos atravessaram todo o processo de elaboração da tabela periódica.

Apresentamos na Figura 4 a seguir uma linha do tempo com as contribuições à construção da tabela periódica que serão discutidas neste texto, bem como algumas concepções sobre o átomo que influenciaram nesse processo.

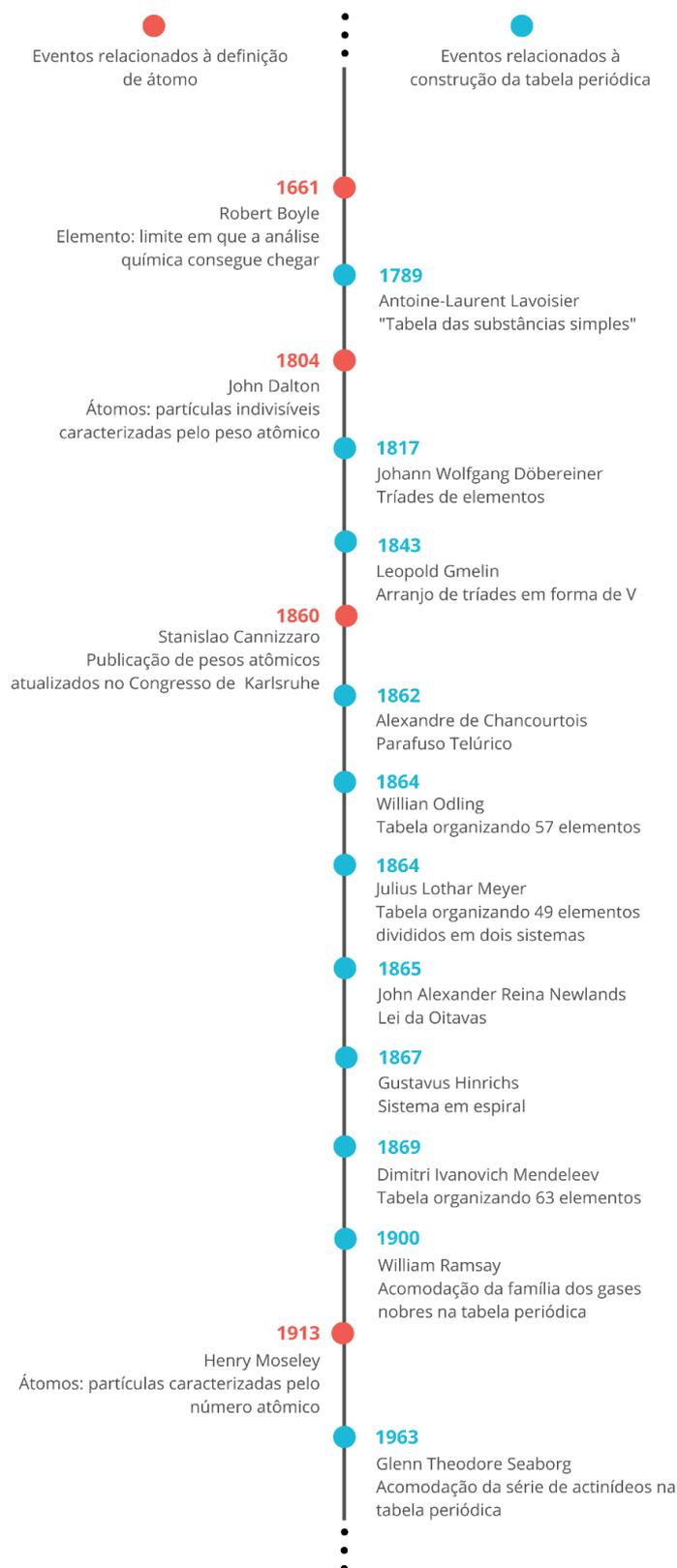
### 1.2.1 Ideias iniciais sobre a organização dos elementos

Segundo Tolentino, Rocha-Filho e Chagas (1997), durante os séculos XVII a XIX, a Europa vivia um grande desenvolvimento das ciências, ocorrendo uma tendência à sistematização dos conhecimentos de diferentes áreas, como a botânica e a geologia, por exemplo.

Nesse contexto, Antoine-Laurent Lavoisier (1743 – 1794), com formação em direito, passou a se dedicar aos estudos da natureza: astronomia, botânica, geologia, mineralogia e química. Estes três últimos exerceram forte influência sobre ele, que se dedicou ao estudo dos processos de combustão, procurando compreender o papel do ar nas reações, bem como da composição da água (ALFONSO-GOLDFARB et al., 2016). O estudo das transformações químicas levou Lavoisier a se preocupar com a composição das equações de reação e, para tanto, era fundamental a ideia de conservação da matéria e de partícula elementar. Seguindo a ideia apresentada por Boyle, Lavoisier enuncia que

[...] se pelo nome de elementos pretendemos designar as partículas simples e indivisíveis que compõem os corpos é provável que não os conheçamos; se, ao contrário, juntamos ao nome de elementos ou princípios corpos de ideia do último termo a que chega a análise, todas as substâncias que ainda não pudemos decompor por algum meio são para nós elementos. (LAVOISIER, 2007, p. 21).

Figura 4: Linha do tempo dos eventos relacionados à construção da tabela periódica.



Fonte: autoria própria<sup>2</sup>.

Assim, em uma definição operacional, Lavoisier propôs que o termo elemento

<sup>2</sup> Linha do tempo construída com base nos trabalhos de Oki (2007), Scerri (2007) e Spronsen (1969).

corresponde à última substância em que a análise experimental permitia chegar. Em 1789, Lavoisier publicou o “Tratado Elementar de Química”, no qual abordou desde os fundamentos dessa ciência até níveis mais complexos. Filgueiras (2007) destaca que, em uma época em que a teoria era deixada de lado em obras do campo da Química, Lavoisier resgatou seu valor, unindo teoria e prática. De igual modo, adotou uma postura rigorosa com relação à experiência, só afirmando aquilo que foi comprovado empiricamente. Em seu tratado, após expor aspectos teóricos sobre a formação dos gases, as reações de combustão e de formação dos ácidos, Lavoisier apresentou uma série de tabelas e observações sobre as substâncias. A primeira delas é a “Tabela das substâncias simples”, reproduzida na Figura 5, na qual listou os 33 elementos até então conhecidos, propondo uma classificação a partir de suas propriedades químicas.

Na “Tabela das substâncias simples” proposta por Lavoisier, há a divisão dos elementos em quatro grupos, definidos a partir de critérios empíricos. No primeiro grupo estão as “substâncias simples que pertencem aos três reinos e podem ser vistos como elementos nos corpos”: luz, calórico, oxigênio, azoto e hidrogênio. O segundo grupo contém “substâncias simples não-metálicas oxidáveis e acidificáveis”: enxofre, fósforo, carbono e os radicais muriático, fluórico e borácico, os quais ele supunha conter elementos ainda não isolados. O grupo três reúne as “substâncias simples metálicas oxidáveis e acidificáveis”: antimônio, prata, arsênio, bismuto, cobalto, cobre, estanho, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, ouro, platina, chumbo, tungstênio e zinco. Por fim, no grupo quatro denominado “substâncias simples salificáveis” estavam presentes: cal, magnésia, barita, alumina e sílica, todos reconhecidos como não elementar por Lavoisier (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

Das 33 substâncias listadas, 23 eram conhecidas em sua forma elementar e as demais eram substâncias que Lavoisier julgava conter elementos ainda não isolados. Observamos que no primeiro grupo de substâncias estava a luz e o calórico, hoje não reconhecidos como tal. Entretanto, segundo Baía (2010) a explicação para os efeitos térmicos e luminosos envolvidos em uma transformação química era dada tomando calor e luz como substâncias, visto que a concepção moderna de energia só foi formulada no século XIX.

Figura 5: “Tabela das substâncias simples” proposta por Lavoisier.

192      DES SUBSTANCES SIMPLES.  
TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
<i>Substances simples qui appartiennent aux trois règnes &amp; qu'on peut regarder comme les élémens des corps.</i>	Lumière.....	Lumière. Chaleur. Principe de la chaleur.
	Calorique.....	Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
	Oxygène.....	Air déphlogistiqué. Air empiréal. Air vital. Base de l'air vital.
	Azote.....	Gaz phlogistiqué. Mofete. Base de la mofete.
	Hydrogène.....	Gaz inflammable. Base du gaz inflammable.
	<i>Substances simples non métalliques oxidables &amp; acidifiables.</i>	Soufre.....
Phosphore.....		Phosphore.
Carbone.....		Charbon pur.
Radical muriatique.		Inconnu.
Radical fluorique.		Inconnu.
Radical boracique..		Inconnu.
Antimoine.....		Antimoine.
Argent.....		Argent.
Arsenic.....		Arsenic.
Bismuth.....		Bismuth.
<i>Substances simples métalliques oxidables &amp; acidifiables.</i>	Cobolt.....	Cobolt.
	Cuivre.....	Cuivre.
	Etain.....	Etain.
	Fer.....	Fer.
	Manganèse.....	Manganèse.
	Mercure.....	Mercure.
	Molybdène.....	Molybdène.
	Nickel.....	Nickel.
	Or.....	Or.
	Platine.....	Platine.
<i>Substances simples salifiables terreuses.</i>	Plomb.....	Plomb.
	Tungstène.....	Tungstène.
	Zinc.....	Zinc.
	Chaux.....	Terre calcaire, chaux.
	Magnésie.....	Magnésie, base du sel d'Épsem.
Baryte.....	Barote, terre pesante.	
Alumine.....	Argile, terre de l'alun, base de l'alun.	
Silice.....	Terre siliceuse, terre vitrifiable.	

Fonte: Lima, Barbosa e Filgueiras (2019, p. 1128).

Observando a tabela, vemos na segunda coluna o nome das substâncias proposto por Lavoisier e na terceira coluna seus nomes usuais. Essa é outra contribuição atribuída a Lavoisier para a Química: a sistematização de uma nomenclatura, reduzindo os problemas causados pela diversidade de nomes associados a uma mesma substância. Até então as substâncias recebiam denominações variadas que derivavam das suas propriedades, origem ou de seus nomes alquímicos, o que causava uma imensa dificuldade tanto para a divulgação da Química quanto para seu ensino. Assim, Lavoisier

juntamente com Guyton de Morveau (1737 – 1816), Claude Berthollet (1748 – 1822) e Antoine Fourcroy (1755 – 1809) lançaram as bases da nomenclatura das substâncias inorgânicas até hoje utilizadas (FILGUEIRAS, 2007).

Segundo Alfonso-Goldfarb (2016), os estudos de Lavoisier, referentes às massas envolvidas nas reações químicas, trouxeram uma importante contribuição para o desenvolvimento da teoria atômica por John Dalton (1766-1844), em 1804. Para Dalton, os elementos químicos eram constituídos por um conjunto de átomos de mesma massa relativa. Assim, Dalton propôs a existência de partículas indivisíveis, os átomos, que eram caracterizados pelos seus pesos atômicos, ou seja, átomos de um mesmo elemento possuíam o mesmo peso atômico. Segundo Tolentino, Rocha-Filho e Chagas (1997), até então as tentativas de organização dos elementos se baseavam em propriedades experimentais, mas com o desenvolvimento da teoria atômica, o peso atômico passou a ser considerado fundamental. Esta propriedade foi usada para caracterizar os elementos até 1913, quando se passou a utilizar o número atômico para tal finalidade, como será abordado adiante.

Paralelamente, novos elementos continuaram a ser isolados a partir de diversos caminhos e por meio de diferentes técnicas. A mineralogia e a metalurgia possibilitaram o isolamento de diversos metais. A invenção da pilha, por Alessandro Volta (1745 – 1827) em 1800, possibilitou o desenvolvimento da eletrólise<sup>3</sup>, levando ao isolamento de metais alcalinos, alcalino-terrosos, entre outros. Um passo muito significativo que permitiu identificar novos elementos químicos foi o desenvolvimento da espectroscopia atômica<sup>4</sup>, em 1859, em um trabalho conjunto do químico Robert Bunsen (1811 – 1899) e do físico Gustav Kirchhoff (1824 – 1887). Por meio dessa técnica, foram identificados diversos elementos, entre eles o rubídio, célio, tálio, índio e hélio (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019). Assim, o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas para a caracterização dos elementos permitiu ampliar o número de elementos conhecidos. Nesse processo, observamos como a tecnologia pode limitar ou potencializar a construção de novos conhecimentos.

Um passo importante para a construção da tabela periódica foi dado pelo químico

---

<sup>3</sup> Na eletrólise uma corrente elétrica é utilizada para forçar a decomposição de uma substância em seus componentes (BROWN et al., 2005).

<sup>4</sup> Em altas temperaturas, os elementos emitem luz, cujo comprimento de onda é característico para cada elemento. Se essa luz é decomposta por meio de um prisma, observa-se raias coloridas, com comprimentos de onda bem definidos. Essas raias constituem uma espécie de impressão digital dos elementos, sendo usadas para identificá-los (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

alemão Johann Wolfgang Döbereiner (1780 – 1849). Sem condições financeiras para ingressar em uma universidade, ainda jovem Döbereiner trabalhou por três anos com um boticário e desenvolveu seus estudos sozinho. Entre as diversas ocupações que teve, Döbereiner trabalhou com a fabricação de produtos agrícolas e químicos; na indústria têxtil, atuou no branqueamento e tingimento de algodão; e supervisionou propriedades agrícolas, onde se dedicava às técnicas de fermentação e destilação. Em 1810, Döbereiner foi convidado a lecionar Química na Universidade de Jena, Alemanha, onde se destacou como professor e desenvolveu pesquisas em diversas áreas da Química (KAUFFMAN, 1999).

Dentre as pesquisas realizadas por Döbereiner, estava a estequiometria, o estudo das proporções entre as substâncias envolvidas em uma reação química. Em 1817, Döbereiner observou a existência de uma relação entre os pesos de elementos com propriedades químicas semelhantes. Ao analisar os óxidos de cálcio (CaO), estrôncio (SrO) e bário (BaO), o químico alemão notou que o peso do óxido de estrôncio correspondia à média entre os pesos dos óxidos de cálcio e bário. Além disso, cálcio, estrôncio e bário exibiam um comportamento químico semelhante (SCERRI, 2007).

Uma importante consideração feita por Döbereiner foi levar em conta os pesos atômicos. Assim, seu agrupamento não partia somente de critérios empíricos, como feito por Lavoisier, mas considerava o peso atômico como um fator essencial na relação entre os elementos. Entretanto, não havia um entendimento do que levava a essa relação, sendo considerada a possibilidade de que o elemento central seria uma mistura entre os outros dois, reforçando a ideia de transmutação dos elementos (SPRONSEN, 1969).

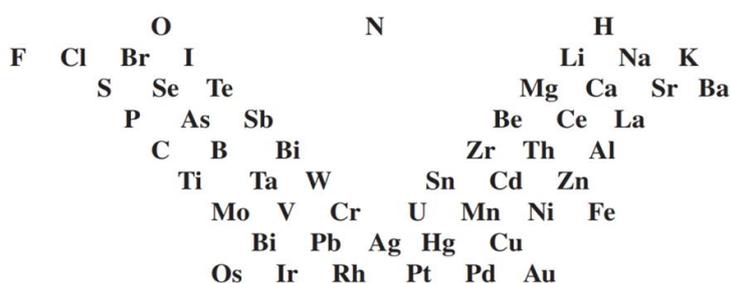
Scerri (2007) relata que em 1829, 12 anos após anunciar a primeira tríade, Döbereiner propôs a existência de três outras: cloro, bromo e iodo; enxofre, selênio e telúrio; e lítio, sódio e potássio. Lima, Barbosa e Filgueiras (2019) acrescentam a essa lista a tríade manganês, cromo e ferro. Esses autores ressaltam que uma lista de pesos atômicos mais rigorosa, publicada por Jöns Jacob Berzelius (1779 – 1848), contribuiu para que Döbereiner encontrasse essas novas tríades.

A princípio, as tríades propostas por Döbereiner não foram muito reconhecidas, mas, posteriormente, tiveram muita influência sobre os químicos de sua época. Olhando hoje para as tríades, observamos que elas agrupam elementos que apresentam propriedades químicas semelhantes e, por isso, estão alocados em uma mesma coluna da tabela periódica moderna. Além disso, ela considera o peso atômico dos elementos e, por isso, revela-se como um passo inicial no desenvolvimento de um sistema periódico

(SCERRI, 2007).

Embora a noção de tríades tenha sido proposta por Döbereiner, segundo Scerri (2007), o termo “tríades” foi dado posteriormente por Leopold Gmelin (1788 – 1853), que nasceu em Göttingen, Alemanha, em uma família de químicos. Habashi (2009) relata que em 1817, Gmelin começou a lecionar disciplinas de medicina e Química na Universidade de Heidelberg. Também neste ano publicou a primeira edição de seu livro, que se tornou uma referência na área da Química. Gmelin se aprofundou nos estudos de Döbereiner e propôs outros grupos de tríades, totalizando 55 elementos. O arranjo proposto em 1843, um esquema em forma de V, é reproduzido na Figura 6, abaixo.

Figura 6: Sistema proposto por Gmelin, em 1843.



Fonte: Scerri (2007, p. 45).

Em seu sistema, Gmelin dispôs as tríades, ou em alguns casos grupos de quatro elementos, horizontalmente em cada “braço” do esquema em forma de V, como por exemplo, flúor, cloro, bromo e iodo, e lítio, sódio e potássio, dispostos na segunda linha. Segundo Scerri (2007), o grande salto de Gmelin foi ter conseguido agrupar 55 elementos em tríades horizontais, dentro das quais os elementos estão organizados em ordem crescente de peso atômico. Em termos qualitativos, o autor supõe que a organização dos elementos se deu em função de propriedades físicas e químicas dos elementos, as quais são discutidas por Gmelin em seu livro texto. Nesse sentido, observa-se, por exemplo, os elementos mais eletronegativos no “braço” esquerdo do esquema, e elementos eletropositivos à direita. Spronsen (1969) observa a posição destacada dos elementos oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, para os quais Gmelin não encontrou homólogos.

Para Scerri (2007), o sistema de Gmelin não pode ser chamado de periódico, pois não apresenta uma tendência periódica geral. Além disso, não houve uma preocupação explícita em organizar o conjunto dos elementos em ordem crescente de peso atômico, embora tenha usado esta propriedade para ordenar cada tríade separadamente. A ideia das tríades a partir do estudo do peso atômico dos elementos foi explorada por outros

cientistas, dentre eles Max von Pettenkofer (1818 – 1901), Jean-Baptiste Dumas (1800 – 1884), Peter Kremers (1827 - ?) e Ernst Lenssen (1837 – 1898).

O químico alemão Max von Pettenkofer, na década de 1850, acreditava que as tríades propostas por Döbereiner eram fruto do acaso, mas observou a existência de intervalos constantes entre os pesos de determinadas séries de elementos. Notou, por exemplo, que os pesos de lítio, sódio e potássio diferiam em 16 unidades. Em outros casos, a diferença entre os pesos de uma série de elementos correspondia a um valor constante ou a um múltiplo desse valor. Pettenkofer utilizou sua teoria para fazer predições do peso de elementos cujos valores eram difíceis de se obter (SCERRI, 2007).

Embora não tenha citado Döbereiner em seus trabalhos, o químico francês Jean-Baptiste Dumas também trabalhou com a ideia de tríades de elementos. Para ele, o elemento do meio seria um composto formado pelos outros dois. Sugeriu, ainda, a ideia da transmutação entre elementos de um mesmo grupo. A grande sugestão de Peter Kremers, em 1856, foi propor relações bidirecionais entre tríades, conectando diferentes grupos. Ernst Lenssen também buscou agrupar as tríades, construindo grupos com nove elementos, e usou esses agrupamentos para prever a massa de elementos que ainda não havia sido calculadas (SCERRI, 2007).

Embora a ideia das tríades pareça uma proposta distante da tabela periódica moderna, ela representa uma evolução na organização dos elementos. Primeiro, por não considerar somente aspectos qualitativos, mas tomar os pesos atômicos como uma propriedade essencial nesse processo. Depois, por procurar relacionar tríades entre si, o que proporciona uma visão mais ampla das relações entre os elementos. Além disso, esse sistema se mostrou capaz de realizar previsões dos pesos de alguns elementos. Apesar disso, não se chegou a uma explicação para a ocorrência das tríades (SCERRI, 2007).

Para a construção das tríades foram utilizados os valores de pesos atômicos conhecidos na época, mas ainda não havia um consenso sobre esses valores, o que gerava grandes dificuldades para os químicos. Diante dessa e de outras controvérsias, foi organizado pelos químicos Friedrich August Kekulé (1829 – 1896), Charles Adolphe Würtz (1817 – 1884) e Karl Weltzien (1813 – 1870) o Congresso de Karlsruhe, na Alemanha, em 1860. Ao todo, foram convidados 140 químicos, e o evento contou com a participação de cientistas de 12 países. O objetivo do encontro foi a discussão de pontos fundamentais para o desenvolvimento da Química: definição de átomo, molécula, equivalente, atômico; os equivalentes e as fórmulas químicas; e o estabelecimento de uma notação e nomenclatura única (OKI, 2007).

Naquela ocasião, Stanislao Cannizzaro (1826 – 1910) apresentou seu artigo, no qual fazia uma distinção entre átomos e moléculas e defendia a utilização do peso atômico, considerando as ideias sobre a atomicidade dos elementos. Em seu artigo, apresentou uma tabela com valores de peso atômico, calculados a partir das densidades dos gases e vapores das substâncias, em comparação à densidade do hidrogênio gasoso. Embora a questão não tenha sido resolvida na ocasião, seu trabalho foi fundamental para seu esclarecimento. Outra contribuição importante feita no Congresso de Karlsruhe foi a discussão sobre a teoria de valência dos elementos, segundo a qual estes apresentam capacidades definidas de ligação uns com os outros (OKI, 2009).

### 1.2.2 A DÉCADA DE 1860

Segundo Rouvray (2015) não é possível precisar uma data para a elaboração da primeira tabela periódica, havendo divergências sobre suas origens. Segundo este autor, os conhecimentos foram evoluindo ao longo do tempo, com destaque para a década de 1860, devido a diversos fatores: a publicação dos pesos atômicos por Cannizzaro; o desenvolvimento da espectroscopia atômica, possibilitando a identificação de novos elementos; os estudos que deixaram de se concentrar em tríades isoladas para buscar relações entre grupos maiores de elementos. Ao longo dessa década, houve pelo menos seis propostas para o sistema periódico, as quais iremos apresentar adiante. Como argumentado por Scerri (2007), houve uma evolução no conceito de periodicidade nos sistemas propostos, que culminaram na proposta de Mendeleev.

Por volta de 1862, o geólogo e mineralogista francês Alexandre Émile Béguyer de Chancourtois (1820 – 1886), organizou os elementos em ordem de peso atômico, em um formato tridimensional de uma espiral cilíndrica, inclinada em 45° (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997). Tal forma de organização foi nomeada por Chancourtois como “Parafuso Telúrico: Classificação natural de corpos simples ou radicais, obtido por meio de um sistema de classificação helicoidal e numérico” (tradução nossa<sup>5</sup>), e tanto seu esquema planejado quanto um modelo construído pelo Museu de Ciências da Inglaterra, em 1925, são apresentados na

Figura 7.

Na proposta de Chancourtois, o elemento telúrio aparece na região mediana do

---

<sup>5</sup> “Vis Tellurique: Classement naturel des corps simples ou radicaux, obtenu au moyen d’un système de classification hélicoïdale et numérique.”

cilindro, o que pode ter levado à escolha do nome Parafuso Telúrico, ou *vis tellurique*. O nome também pode ter sido escolhido por Chancourtois devido à sua formação em geologia, visto que *tellos*, significa terra em grego (SCERRI, 2007).

O parafuso telúrico possui uma base cilíndrica, dividida em 16 partes iguais e um eixo vertical onde estão dispostos os valores numéricos. A um ângulo de 45° em relação ao eixo vertical foram traçadas linhas, também divididas em 16 partes iguais. Os elementos foram dispostos sobre estas linhas de tal forma que a cada 16 unidades de massa se iniciava uma nova espiral. Desta forma, o elemento de peso atômico 17 estava disposto sobre o de peso um, o de peso 18 sobre o de peso dois, e assim sucessivamente. Desta forma, potássio, sódio e lítio, que exibem propriedades químicas semelhantes, estavam agrupados em uma mesma linha vertical, o mesmo ocorrendo com outras séries de elementos (SCERRI, 2007).

Chancourtois partiu do princípio de que as propriedades dos elementos estão relacionadas a números característicos, que em muitos casos correspondem ao peso atômico. Para alguns elementos, esses valores foram arredondados para números inteiros, divididos ou multiplicados por dois (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Na época, essa proposta não foi bem aceita devido às dificuldades de representação. Além disso, estavam listados não só elementos, mas óxidos, ácidos e outras substâncias (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997). Scerri (2007) também atribui o não reconhecimento da proposta ao fato de Chancourtois ter enfatizado os aspectos geológicos, mesmo porque essa era a sua área de formação, em detrimento dos aspectos químicos. Além disso, não houve um aprofundamento de sua proposta nos anos que se seguiram. Para esse autor, Chancourtois foi o primeiro a reconhecer que as propriedades dos elementos eram uma função do peso atômico, o que corresponde à grande contribuição de seu trabalho.

Outra proposta de organização dos elementos foi feita pelo químico inglês John Alexander Reina Newlands (1837 – 1898). Filho de uma italiana, Newlands abandonou seu trabalho com Química e foi lutar pela unificação da Itália no exército comandado por Giuseppe Garibaldi (1807 – 1882), no ano de 1860. Ao retornar para Londres, Newlands começou a trabalhar como químico em uma fábrica de açúcar, ao mesmo tempo em que dava aulas (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).



propostos por Cannizzaro e divulgados no Congresso de Karlsruhe. Durante a realização do Congresso, Newlands estava na guerra na Itália e, por isso, não tinha conhecimento desta publicação. Além disso, como não era reconhecido como um grande químico, é possível que ele nem teria sido convidado para o evento (SCERRI, 2007).

Baseado em características químicas, Newlands separou os 61 elementos até então conhecidos em 11 grupos. Ao comparar seus pesos, observou que entre o elemento de menor peso e aquele imediatamente acima dele, pertencente a um mesmo grupo, havia uma diferença de oito unidades, ou múltiplos de oito. A comparação entre os elementos pode ser vista no quadro apresentado na Figura 8, abaixo, publicado por Newlands. Ao analisar uma tríade de elementos pertencentes a um mesmo grupo, algo semelhante acontecia, sendo observada uma diferença de múltiplos de oito entre os valores (NEWLANDS, 1863)<sup>6</sup>.

Figura 8: Quadro apresentado por Newlands mostrando a relação entre os pesos de elementos pertencentes a um mesmo grupo.

Member of Group having lowest Equivalent.	One immediately above the preceding.	Difference.
Magnesium 12	Calcium 20	8
Oxygen 8	Sulphur 16	8
Carbon 6	Silicon 14·2	8·2
Lithium 7	Sodium 23	16
Fluorine 19	Chlorine 35·5	16·5
Nitrogen 14	Phosphorus 31	17

Fonte: Newlands (1863).

Em outro artigo publicado em julho de 1864, Newlands propôs que a diferença entre os pesos dos elementos de um mesmo grupo seria 16, ao invés de 8. Para que a relação numérica entre os pesos fosse mantida, Newlands sugeriu uma pequena correção no peso do elemento cézio, de 123 para 131 (NEWLANDS, 1864a). Essa previsão no peso dos elementos se mostrou acertada do ponto de vista atual, visto que o peso atômico do elemento cézio é 132,91.

Em outra publicação de Newlands, em agosto de 1864, ele apresentou outra tabela (Figura 9). Embora tenha organizado somente 24 dos elementos até então conhecidos, ele propôs que “[...] o oitavo elemento a começar de um dado elemento, é um tipo de

<sup>6</sup> Os artigos publicados por Newlands abordando a lei periódica dos elementos foram por ele compilados e impressos em formato de livro em 1884.

repetição do primeiro, assim como a oitava nota em uma oitava musical” (NEWLANDS, 1864b, p. 94, tradução nossa)<sup>7</sup>.

Figura 9: Tabela proposta por Newlands ordenando os elementos em grupos com propriedades semelhantes.

		No.		No.		No.		No.		No.	
<b>Group</b>	<b>a</b>	<b>N</b>	<b>6</b>	<b>P</b>	<b>13</b>	<b>As</b>	<b>26</b>	<b>Sb</b>	<b>40</b>	<b>Bi</b>	<b>54</b>
„	<b>b</b>	<b>O</b>	<b>7</b>	<b>S</b>	<b>14</b>	<b>Se</b>	<b>27</b>	<b>Te</b>	<b>42</b>	<b>Os</b>	<b>50</b>
„	<b>c</b>	<b>Fl</b>	<b>8</b>	<b>Cl</b>	<b>15</b>	<b>Br</b>	<b>28</b>	<b>I</b>	<b>41</b>	—	—
„	<b>d</b>	<b>Na</b>	<b>9</b>	<b>K</b>	<b>16</b>	<b>Rb</b>	<b>29</b>	<b>Cs</b>	<b>43</b>	<b>Tl</b>	<b>52</b>
„	<b>e</b>	<b>Mg</b>	<b>10</b>	<b>Ca</b>	<b>17</b>	<b>Sr</b>	<b>30</b>	<b>Ba</b>	<b>44</b>	<b>Pb</b>	<b>53</b>

Fonte: Newlands (1864b).

Destacamos nessa proposta de Newlands a forma como ele enumerou os elementos. Ao invés de usar o peso, ele atribuiu a cada elemento um número inteiro: 1, 2, 3 e assim sucessivamente, mas seguindo a ordenação dos pesos. Na Figura 9, vemos a numeração a partir do número seis. Este fato é apontado por Scerri (2007) como um grande mérito para o trabalho de Newlands, pois pode ser visto como uma antecipação do conceito moderno de número atômico.

No ano seguinte, Newlands fez uma nova publicação, apresentada na Figura 10, expandindo sua tabela anterior. Novamente, em uma mesma linha horizontal são agrupados elementos com propriedades semelhantes, e que se repetem a cada oito elementos. Ao final do artigo, chama essa relação de “*Law of Octaves*” ou Lei das Oitavas (NEWLANDS, 1865).

Figura 10: Representação da Lei das Oitavas por Newlands em 1865.

No.	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	Tl 53		
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 25	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Pb 54		
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 24	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Th 56		
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52		
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	Os 51		

Fonte: Newlands (1865).

Observamos nesta tabela pequenas transposições nas posições das duplas de elementos: titânio e cromo, zinco e ítrio, cério/lantânio e zircônio, estanho e urânio,

<sup>7</sup> “[...] the eighth element starting from a given one is a kind of repetition of the first, like the eighth note of an octave in music.”

telúrio e iodo, e uma inversão nos elementos da última coluna. Essas trocas foram feitas buscando agrupar os elementos de propriedades semelhantes, respeitando a Lei das Oitavas (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019). Ao trocar telúrio e iodo de lugar, por exemplo, vemos que o elemento iodo fica agrupado com flúor, cloro e bromo, elementos que exibem propriedades semelhantes. Essa foi uma troca acertada do ponto de vista da tabela moderna, visto que esse grupo corresponde atualmente à família 17. Entretanto, nesse mesmo grupo estão alocados alguns metais, como cobalto e níquel, que apresentam propriedades químicas diferentes dos demais.

Para Scerri (2007), Newlands deu um importante passo em direção à construção da tabela periódica, pois propôs a existência de uma lei natural, relacionada à periodicidade das propriedades dos elementos. Essa lei se aplica perfeitamente aos dois primeiros períodos da tabela moderna, excluindo os gases nobres, que ainda não eram conhecidos nessa época.

Em 1866, Newlands apresentou sua proposta para a *London Chemical Society*, que recusou o trabalho. Entre as críticas recebidas, estava o fato de que não havia lacunas em sua tabela para elementos ainda não conhecidos. Newlands foi ainda questionado, em tom vexatório, se não havia tentado também organizar os elementos em ordem alfabética. No período de 1863 a 1890, Newlands publicou um total de 16 artigos apresentando diferentes tentativas de classificação dos elementos. Somente em 1887, teve sua obra reconhecida com a outorga da Medalha Davy<sup>8</sup>, pela *Royal Society* (SCERRI, 2007).

Outros químicos também se dedicaram a essa questão, entre eles Willian Odling (1829 – 1921), que estudava, dentre outras áreas, Química Inorgânica e aplicada. Também esteve presente no Congresso de Karlsruhe, onde apresentou um trabalho argumentando a favor de um sistema unitário de pesos atômicos (SPRONSEN, 1969).

Em 1864, Willian Odling publicou uma tabela, apresentada na Figura 11, na qual organizava 57 dos 60 elementos até então conhecidos. Seguindo a ordem de peso estabelecido por Cannizzaro, ele observou as propriedades dos elementos e de seus compostos para agrupá-los, dentre elas a capacidade calorífica atômica e o volume atômico (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Observando a tabela de Odling, percebemos nas linhas horizontais conjuntos de elementos com propriedades semelhantes. Para que as relações entre os elementos fossem

---

<sup>8</sup> A Medalha Davy é uma premiação concedida pela Real Sociedade de Londres em reconhecimento às contribuições científicas no ramo da Química.

respeitadas, Odling propôs a troca de lugar entre alguns elementos, como telúrio e iodo. Spronsen (1969) destaca a existência de lacunas na tabela de Odling, supostamente indicadas pelo símbolo ”. Segundo este autor, se este símbolo de fato indica elementos ainda não descobertos, Odling pode ter predito a existência do elemento germânio, por exemplo, localizado na linha horizontal entre silício e estanho.

Figura 11: Tabela publicada por Odling em 1864.

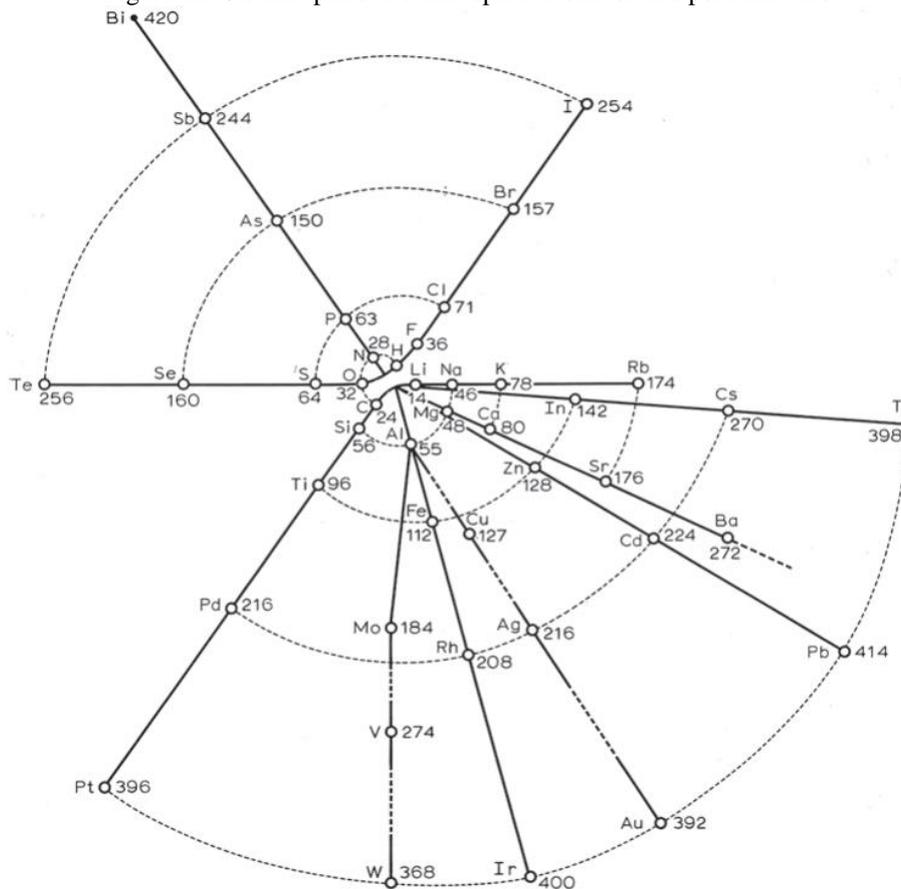
				Ro 104	Pt 197
				Ru 104	Ir 197
				Pd 106·5	Os 199
H 1	..	..		Ag 108	Au 196·5
..	..	Zn 65		Cd 112	Hg 200 .....
L 7	..	..		..	Tl 203
G 9	..	..		..	Pb 207 .....
B 11	Al 27·5	..		U 120	..
C 12	Si 28	..		Sn 118 .....	..
N 14	P 31	As 75		Sb 122	Bi 210
O 16	S 32	Se 79·5		Te 129 .....	..
F 19	Cl 35·5	Br 80		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: Scerri (2007, p. 83).

Menos citado do que outros precursores da tabela periódica, Gustavus Hinrichs (1836–1923) também apresentou uma proposta de classificação dos elementos. Hinrichs estudou na Universidade de Copenhagen, na Dinamarca, e se mudou para os Estados Unidos em 1861, onde se tornou professor da Universidade de Iowa (SCERRI, 2007).

Hinrichs buscava encontrar relações numéricas nos fenômenos naturais, como, por exemplo, entre os tamanhos das órbitas planetárias. Assim, ao estudar os elementos químicos, ele buscou estabelecer relações numéricas entre os espectros atômicos (obtidos por meio da espectroscopia atômica) e o tamanho dos átomos, concluindo que as linhas espectrais são determinadas pelo tamanho dos átomos. Utilizando esses dados numéricos associados às propriedades químicas, em 1867, Hinrichs organizou os elementos em grupos, propondo um sistema em espiral, mostrado na Figura 12 (SCERRI, 2007).

Figura 12: Sistema periódico em espiral desenvolvido por Hinrichis.



Fonte: Scerri (2007, p. 91).

Nesta proposta, os raios da espiral correspondem aos grupos de elementos. Do ponto de vista moderno, alguns desses grupos trazem elementos de uma mesma família da tabela periódica, como oxigênio, enxofre, selênio e telúrio. Porém, em outros grupos, há uma mistura de metais e ametais, como em carbono, silício, titânio, paládio e platina. Outro fator de destaque para essa proposta é que os grupos de elementos são apresentados de forma mais clara do que nas propostas de Newlands. Entretanto, a ordenação dos elementos não é feita de acordo com a ordem de peso atômico (SCERRI, 2007).

Outra contribuição importante para a organização dos elementos veio do alemão Julius Lothar Meyer (1830 – 1895). Meyer se formou em medicina em 1854 e, em seguida, estudou Química sob a orientação de Bunsen e Kirchhoff, os mesmos que desenvolveram a técnica da espectroscopia atômica. Em 1858, doutorou-se em Química pela Universidade de Breslau, onde se tornou professor. Depois, prosseguiu dando aulas em Karlsruhe e Tübingen (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019). Dedicou-se à Química Orgânica e Inorgânica e, estudando a valência dos elementos, introduziu as expressões “monovalente”, “bivalente”, etc. Além disso, estudou a relação entre o peso

atômico e as propriedades dos elementos (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Segundo Scerri (2007), os trabalhos de Döbereiner e Pettenkofer e os pesos atômicos publicados por Cannizzaro tiveram grande influência sobre Meyer que, em 1864, publicou sua primeira tabela periódica. A tabela publicada por Meyer era dividida em dois sistemas, com os elementos organizados em ordem crescente de peso atômico, apresentada na Figura 13.

Figura 13: Tabela publicada por Lothar Meyer em 1864.

	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 = 19.00	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 x 44.7	87.4 = 2 x 43.7	-	-	(71 = 2 x 35.5)	-
	Pb = 207.0	Bi = 208.0	-	-	(Tl = 204?)	-

4-werthig	6-werthig	4-werthig	4-werthig	4-werthig	2-werthig	
Ti = 48	Mo = 92	Mn = 55.1 Fe = 56.0	Ni = 58.7	Co = 58.7	Zn = 65	Cu = 63.5
Differenz	42	{ 49.2 48.3	45.6	47.3	46.9	44.4
Zr = 90	Vd = 137	Ru = 104.3	Rh = 104.3	Pd = 106.0	Cd = 111.9	Ag = 107.94
Differenz	47.6	92.8 = 2 x 46.4	92.8 = 2 x 46.4	93.0 = 2 x 46.5	88.3 = 2 x 44.2	88.8 = 2 x 44.4
Ta = 137.6	W = 184	Pt = 197.1	Ir = 197.1	Os = 199.0	Hg = 200.2	Au = 196.7

Fonte: Spronsen (1969, p. 126).

Algumas observações podem ser feitas com relação a essa tabela. Meyer agrupou de forma explícita em uma mesma coluna elementos de mesma valência, respeitando as propriedades químicas, embora sem incluir todos os elementos. Para seguir essa propriedade química, inverteu a ordem de iodo e telúrio, por exemplo. Buscando as relações entre os pesos atômicos, Meyer observou que elementos reunidos em um grupo análogo, diferiam seu peso atômico em 16 unidades, ou múltiplos de 16 (SPRONSEN, 1969).

Outro ponto interessante é a separação em duas tabelas, distinguindo os elementos representativos dos metais de transição, assim como ocorre na tabela moderna. Meyer deixou ainda em sua tabela espaços em branco para elementos desconhecidos, com a

estimativa do peso atômico (SCERRI, 2007).

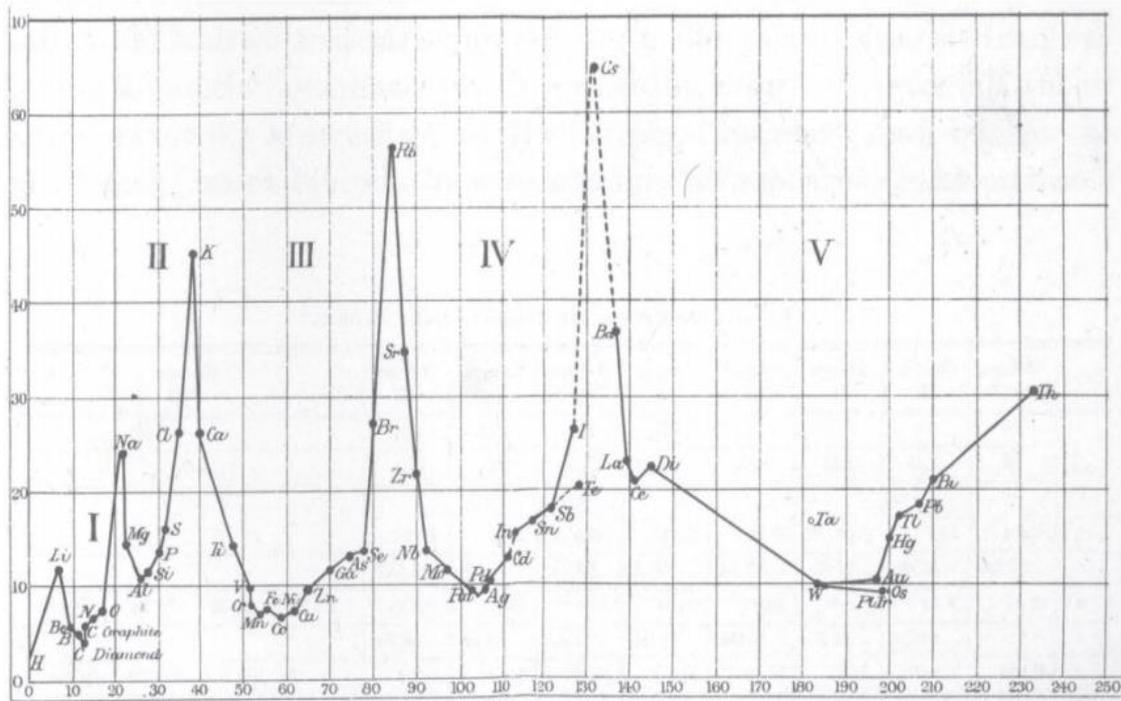
Embora Meyer tenha organizado os elementos em ordem de peso atômico, ele foi criticado por não ter feito essa referência de forma explícita. Além disso, o fato de ter agrupado poucos elementos em uma mesma tabela foi outro ponto de crítica que, no entanto, se pensado em termos dos conhecimentos atuais, pode ser vista a partir da separação entre os elementos representativos e os metais de transição (SCERRI, 2007).

Segundo Scerri (2007), um fator que contribuiu para que a proposta de Meyer tivesse êxito foi o seu conhecimento sobre as propriedades físicas dos elementos, dentre elas o volume atômico e a densidade. Ao publicar um gráfico de volume atômico (peso atômico dividido pela gravidade específica) em função do peso atômico dos elementos, (Figura 14), Meyer mostra a periodicidade dessa propriedade, que tem seus valores máximos ocupados por metais alcalinos.

Posteriormente, em 1868, Meyer desenvolveu uma tabela estendida, composta de 15 colunas, a qual respondia algumas críticas à sua primeira tabela. No entanto, ela não foi publicada, tendo sido levada a público somente 25 anos depois.

Como abordado até o momento, ao longo da década de 1860 muitos cientistas trouxeram importantes contribuições e avanços para a construção de um sistema periódico. A partir do ponto de vista atual, é possível verificar falhas e questões sem respostas em cada uma delas, mas encontramos avanços no corpo geral de conhecimentos, com um desenvolvimento gradual do sistema periódico. Assim, para Scerri (2007), não podemos falar em um descobridor do sistema periódico, mas sim em cientistas que trouxeram diferentes abordagens para a classificação dos elementos, a partir de seus respectivos campos de estudo. Entretanto, segundo o autor, o sistema periódico carrega o nome de Mendeleev, não por ser o primeiro a desenvolvê-lo, mas por ter construído uma proposta que causou mais impacto na comunidade científica, por seu grau de maturidade e capacidade de predição.

Figura 14: Gráfico construído por Meyer, expressando o volume atômico em função do peso atômico.



Fonte: Lima, Barbosa e Filgueiras (2019, p. 1134).

Dimitri Ivanovich Mendeleev<sup>9</sup> (1834 – 1907), nasceu em Tobolsk, na Sibéria. Após ter sua matrícula na Universidade em Moscou negada por problemas políticos locais, em 1850, Mendeleev iniciou os estudos na escola superior para formação de professores, em São Petersburgo, onde se formou em Química no ano de 1856. Posteriormente, ganhou uma bolsa de estudos na Universidade de Heidelberg, na Alemanha. Entre 1859 e 1861, trabalhou no laboratório de Bunsen e Kirchhoff, estudando o comportamento dos gases. Após esse tempo, retornou para São Petersburgo, onde se tornou professor de Química no Instituto Tecnológico de São Petersburgo e, posteriormente, na Universidade de São Petersburgo (SCERRI, 2007; TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997). Segundo Baia (2010), em 1860 Mendeleev participou do Congresso de Karlsruhe, o que lhe permitiu sanar dúvidas com relação à composição da matéria, embora tivesse restrições quanto à teoria atômica e à utilização dos pesos atômicos.

Ao longo da vida, Mendeleev se dedicou, dentre outros, ao estudo dos minerais,

<sup>9</sup> A grafia do nome de Dimitri Ivanovich Mendeleev possui variações nas diferentes fontes consultadas. Neste trabalho, adotamos a forma utilizada por Scerri (2007), por ser esta a principal referência adotada. Entretanto, algumas obras, inclusive “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura amor e morte a partir dos elementos químicos”, utilizam Dmitri Mendeleiev, grafia que será mantida quando se tratar de uma citação direta destes trabalhos. Na obra original escrita por Mendeleev, consta a grafia Mendeléeff, que será mantida nas referências a esse trabalho.

suas formas, composições e semelhanças; do comportamento dos gases; e da interação entre compostos de álcool e água, tema de sua tese de doutoramento defendida em 1865. Também teve grande influência na indústria petrolífera russa, trabalhando em sua modernização no país. Destacamos ainda a preocupação de Mendeleev com sua carreira docente e o aprendizado de seus alunos, o que o levou à escrita do livro “*The Principles of Chemistry*” (BAIA, 2010).

Em sua obra, Mendeleev parte de aspectos concretos das substâncias em direção aos conceitos mais abstratos. Assim, inicia o primeiro volume abordando a água, o ar, os compostos de carbono e o cloreto de sódio. A partir desses, define propriedades físicas e químicas dos elementos oxigênio, hidrogênio, carbono, nitrogênio, sódio e cloro. Nos capítulos seguintes, aborda os grupos de elementos: halogênios, metais alcalinos e metais alcalinos terrosos. No segundo volume da obra, continua a discutir as propriedades dos elementos, também organizados em grupos (BENSAUDE-VINCENT, 1986).

Segundo Bensaude-Vincent (1986), sódio e cloro foram pontos chave da proposta de Mendeleev. Ao invés de analisar somente elementos semelhantes, Mendeleev compara os grupos de halogênios e metais alcalinos, encontrando diferenças regulares nos valores de peso atômico, as quais foram decisivas para seu trabalho. Outro ponto chave apontado pela autora foi a determinação de Mendeleev em distinguir de forma clara os termos substância simples e elemento, conceitos que não era sedimentados na comunidade química da época. Como característica fundamental dos elementos, Mendeleev definiu o peso atômico, usado como critério único de classificação dos elementos. Assim, a definição dos valores de peso atômico por Cannizzaro forneceu uma base para a generalização, e foi um ponto fundamental para sua proposta.

A partir dessa organização dos elementos, Mendeleev construiu sua primeira versão da tabela periódica, em 1869, apresentada na Figura 15. Mendeleev publicou sua tabela original em russo e, no mesmo ano, em alemão, visando alcançar maior número de leitores (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

Bensaude-Vincent (1986) destaca que, embora necessária, a demanda da escrita do livro não foi suficiente para a proposta de organização dos elementos por Mendeleev. Também não foi visualizada em um sonho, ou construída a partir de um jogo de paciência, como é por vezes narrada a história de Mendeleev. Antes, houve um trabalho intenso, em um caminho que teve início no Congresso de Karlsruhe.

Figura 15: Primeira versão da Tabela Periódica de Mendeleev, publicada em 1869.

			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	Pd = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
			Zn = 65,2	Cd = 112	
			? = 68	Ur = 116	Au = 197?
			? = 70	Sn = 118	
			As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
			Se = 79,4	Te = 128?	
			Br = 80	J = 127	
			Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
			Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
			? = 45	Ce = 92	
		?Er =	56	La = 94	
		?Yt =	60	Di = 95	
		?In =	75,6	Th = 118?	
H = 1					
	Be = 9,4	Mg = 24			
	B = 11	Al = 27,4			
	C = 12	Si = 28			
	N = 14	P = 31			
	O = 16	S = 32			
	F = 19	Cl = 35,5			
	Li = 7	K = 39			
	Na = 23	Ca = 40			

Fonte: Lima, Barbosa e Filgueiras (2019).

Com relação à tabela de Mendeleev, observamos o sequenciamento dos 63 elementos conhecidos até então em ordem de peso atômico. Outra característica é a organização em grupos com elementos similares, de forma que aqueles que têm propriedades semelhantes possuem peso atômico com valores próximos ou seguindo aumentos regulares. Como Mendeleev divergia do conceito de tríades, organizou os elementos em grupos maiores. Com relação à valência dos elementos, apesar de considerá-la em sua classificação, o químico russo não observou somente esse critério, visto que muitos elementos têm valência variável. Para ele, as propriedades químicas não podem ser negligenciadas, e nem tomadas sozinhas para generalizar as propriedades dos elementos (SCERRI, 2007).

Segundo Tolentino, Rocha-Filho e Chagas (1997), além de explicar algo, uma teoria deve levantar mais questões e conseguir tratá-las. Nesse ponto, a proposta de Mendeleev se destaca, pois conseguia organizar os dados sobre os elementos conhecidos até o momento e reservar espaços para elementos ainda não conhecidos, com previsões de suas propriedades. Foram confirmadas as previsões para os elementos escândio, gálio e germânio, dando ainda mais destaque para este sistema periódico. O caráter preditivo foi um aspecto que contribuiu para a grande aceitação da tabela de Mendeleev.

Em 1875, houve a primeira confirmação de uma previsão feita por ele, com o isolamento do elemento gálio, denominado eka-alumínio por Mendeleev. Na primeira tabela apresentada por Mendeleev, Figura 15, ao lado do elemento alumínio, encontramos o símbolo “? = 68”, indicando ali a presença de um elemento desconhecido, mas com o

peso atômico 68. Mendeleev determinou não só o peso desse novo elemento, mas também, características físicas e químicas. Para chegar a esses dados, partiu do princípio de que as propriedades dos elementos faltantes seriam intermediárias entre seus vizinhos. Assim, desenvolveu um método de interpolação dos dados, no qual considerava os vizinhos na vertical e na horizontal do elemento desconhecido. Cabe destacar que em alguns casos esse método não foi totalmente eficiente e que nem todas as previsões feitas por Mendeleev foram confirmadas posteriormente (SCERRI, 2007).

A previsão da existência do gálio foi confirmada por Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838 – 1912). Ao trabalhar com um mineral de sulfeto de zinco, Boisbaudran observou que, quando submetida a análise espectroscópica, esta substância fornecia linhas espectrais ainda desconhecidas. Estas, por sua vez, indicavam a existência de um novo elemento, ao qual ele deu o nome gálio (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Assim como outras propostas anteriores, Mendeleev também inverteu a ordem dos elementos iodo e telúrio, representados em sua tabela como “J = 127” e “Te = 128?”, de forma que fossem respeitadas as semelhanças no comportamento químico dos elementos. Àquela época, o peso conhecido para o iodo era 127, e para o telúrio, 128. Assim, seguindo o ordenamento em função do peso atômico, iodo deveria vir antes do telúrio. Entretanto, mantendo-se essa posição, estes elementos não ficariam agrupados com elementos de propriedades semelhantes. Porém, com a inversão da posição, iodo ficaria no mesmo grupo que flúor, cloro e bromo, e telúrio com oxigênio, enxofre e selênio, ou seja, com elementos de propriedades semelhantes (SCERRI, 2007).

Para Mendeleev o peso do iodo estava correto, mas o do telúrio deveria ser 125, ou seja, um valor inferior ao do iodo, o que justificaria a inversão na posição dos dois elementos. Experimentos realizados posteriormente mostraram que essa previsão de Mendeleev não se confirmou, dado que a massa atômica deste elemento é hoje conhecida como 127,6u. Embora a inversão dos elementos tenha sido acertada do ponto de vista atual, a justificativa só foi conhecida em 1913, com os trabalhos de Henry Moseley (1887 – 1915), que mostraram que o ordenamento dos elementos deveria se dar em função do número atômico, e não do peso (SCERRI, 2007).

Nos anos que se seguiram, Mendeleev publicou aproximadamente 30 tabelas periódicas, enquanto outras 30 ficaram registradas somente em seus manuscritos. Esse esforço de Mendeleev em aperfeiçoar sua tabela periódica é outra característica que o destaca. Em 1882, Mendeleev e Meyer foram laureados com a Medalha Davy pelo

trabalho que desenvolveram com a classificação periódica (SCERRI, 2007).

Comumente, nomeamos a tabela como “tabela periódica de Mendeleev”, o que nos dá uma ideia de que ela é um produto derivado exclusivamente do trabalho deste químico. Entretanto, nesse breve percurso apresentado notamos que muitas pessoas se debruçaram sobre esta questão. Muitas vezes, de forma concomitante a Mendeleev, em outras, anterior a ele e fornecendo subsídios para seu trabalho e, ainda, posteriormente a Mendeleev, a partir do trabalho desenvolvido por ele. Assim, a partir das concepções sobre a Ciência discutidas por Pérez et al. (2001) e Peduzzi e Raicik (2020), podemos refletir sobre o trabalho do cientista. Este, um ser social, sujeito a falhas e que não é o detentor máximo do conhecimento. Além disso, seu trabalho não surge do nada, mas é fruto de dedicação e esforço, em um processo de construção. O caráter social da atividade científica também se evidencia quando observamos que, para um conhecimento ser consolidado, ele passa pela aprovação da comunidade científica. Além disso, ainda destacamos a importância dos congressos e artigos científicos como forma de divulgação da Ciência entre seus pares.

### 1.2.3 ATUALIZAÇÕES NA TABELA PERIÓDICA DE MENDELEEV

Ao analisar a história da tabela periódica, Lima, Barbosa e Filgueiras (2019) a comparam a uma estrada de mão dupla. Inicialmente, houve um esforço em encontrar semelhanças e diferenças entre os elementos conhecidos, buscando compreender a lógica que governa o comportamento deles. As correlações entre os elementos levaram à organização da tabela periódica, sendo a década de 1860 muito frutífera com relação a sua construção. Posteriormente, por sua capacidade de previsão, a tabela tornou-se um guia para se encontrar novos elementos, levando à proposta que temos hoje, mas que ainda pode mudar. Não iremos abordar neste texto todas as modificações que houve na tabela periódica de Mendeleev, mas iremos destacar brevemente algumas delas.

Como discutido anteriormente, à medida que novos elementos foram identificados, era preciso encontrar um local para inseri-los na tabela periódica, provocando atualizações. Em alguns casos, os novos elementos correspondiam àqueles preditos por Mendeleev. Entretanto, em outros momentos isso não ocorreu, como é o caso dos gases nobres e dos lantanídeos. Rouvray (2015) destaca que a tabela periódica de Mendeleev não havia predito nem as propriedades nem a existência desses elementos.

Um dos casos não preditos por Mendeleev foi do grupo dos gases nobres. O

primeiro gás nobre encontrado na Terra foi o elemento argônio, por William Ramsay (1852 – 1916) e Lord Rayleigh (1842 – 1919), em 1894. Entretanto, a sociedade química da época, incluindo Mendeleev, não aceitou facilmente que esse seria um novo elemento. Para Mendeleev, o argônio seria uma molécula triatômica de nitrogênio,  $N_3$ , e não um elemento monoatômico. Enquanto essa discussão se desenrolava, o elemento hélio foi identificado na atmosfera terrestre e, posteriormente, os elementos criptônio, neônio, xenônio e radônio. Somente em 1900, Ramsay propôs que esse grupo de elementos análogos deveria formar uma nova coluna de elementos, entre os halogênios e os metais alcalinos, na extremidade direita da tabela. Em 1902, Mendeleev se colocou favorável a essa proposta, considerando-a como uma confirmação da sua lei periódica (SCERRI, 2007).

Tolentino, Rocha-Filho e Chagas (1997) destacam que a não reatividade desses elementos tornou difícil tanto a previsão por Mendeleev, bem como a determinação dos pesos atômicos e sua localização na tabela periódica. Apesar da proposta de Ramsey ter sido aceita, somente a partir dos estudos de Niels Bohr (1885 – 1962) sobre a estrutura eletrônica dos átomos é que se chegou a uma posição definitiva para este grupo, dada sua configuração eletrônica terminada em  $s^2p^6$ , exceto o hélio,  $s^2$ .

Nesse momento, a ideia de átomo havia sofrido modificações: a presença de cargas negativas na matéria já havia sido determinada; no final do século XIX, os estudos sobre a radioatividade por Henri Becquerel (1852 – 1908), Marie Curie (1867 – 1934) e Pierre Curie (1859 – 1906) possibilitaram detectar a presença de partículas positivas no núcleo do elemento; Ernest Rutherford (1871 – 1937), a partir de experimentos com partículas  $\alpha^{10}$ , propôs um novo modelo para o átomo, sendo este formado por um núcleo composto por prótons e com os elétrons imersos em um grande espaço vazio e orbitando esse núcleo (BROWN et al., 2005).

Trabalhando com Ernest Rutherford, na Universidade de Manchester, estava Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887 – 1915). Em 1913, já na Universidade de Oxford, Moseley desenvolveu um experimento no qual os elementos eram bombardeados com um feixe de elétrons de alta energia, o que levava à emissão de raios X. Para cada elemento, estava associado um raio X com determinado valor de energia, o qual também se relacionava com o número de prótons presente no núcleo do elemento. Esse número foi

---

<sup>10</sup> A partícula  $\alpha$  corresponde a um núcleo de átomo de hélio, sendo composto por dois prótons e dois nêutrons. Assim, possui massa 4 e carga +2.

denominado número atômico, passando a ser utilizado para caracterização dos elementos. Assim, a tabela periódica deixou de ser organizada em ordem de peso atômico, passando a ser em função do número atômico dos elementos. Com essa mudança, várias das inversões feitas anteriormente entre as posições dos elementos foram justificadas (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

Posteriormente, os estudos sobre a radioatividade possibilitaram a síntese de novos elementos, iniciando a série dos transurânicos. Esses elementos, localizados após o urânio, possuem mais de 92 prótons (número atômico do elemento urânio), são radioativos e sintetizados em reatores nucleares ou aceleradores de partículas. Os transurânicos começaram a ser sintetizados na década de 1940, durante a 2ª Guerra Mundial. Dentre os cientistas envolvidos nas pesquisas, destacamos o grupo estadunidense liderado por Glenn Theodore Seaborg (1912 – 1999). O desenvolvimento do Projeto Manhattan<sup>11</sup> permitiu a construção de conhecimentos que levaram à síntese dos elementos, mas que também culminaram na construção de bombas atômicas (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

A Figura 16, abaixo, apresenta a tabela periódica antes da 2ª Guerra Mundial. Observamos a presença da série dos lantanídeos, mas não dos actinídeos. Desta última, estavam presentes somente os elementos actínio, tório, protactínio e urânio no sétimo período. Era esperado para os elementos seguintes, de número atômico 93 a 100, que eles fossem alocados após o elemento urânio. Esperava-se para esses elementos propriedades semelhantes aos dos elementos posicionados acima deles na tabela periódica (SEABORG, 1969).

Figura 16: Tabela Periódica antes da 2ª Guerra Mundial.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	93	94	95	96	97	98	99	100				
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	

Fonte: Seaborg (1969, p. 64).

<sup>11</sup> O Projeto Manhattan foi uma iniciativa dos Estados Unidos, durante o período da 2ª Guerra Mundial, que reuniu cientistas e militares com vistas à construção da bomba atômica.

Em 1940, os elementos de número atômico 93 e 94, netúncio e plutônio, foram sintetizados, e se mostraram semelhantes ao urânio, ao contrário do esperado. Em 1944, Seaborg propôs que o actínio e os elementos posteriores a ele, devido às suas propriedades químicas, deveriam ser agrupados em uma segunda série de elementos, de forma semelhante aos lantanídeos. Nos anos seguintes, os elementos de número atômico 95 a 103 foram sintetizados, fechando a série dos elementos actinídeos. A Figura 17, abaixo, apresenta a tabela periódica no ano de 1963. Cabe destacar que os números atômicos dos elementos ainda por descobrir foram colocados entre parênteses (SEABORG, 1969).

Figura 17: Tabela Periódica de 1963.

1																	2
3	4											5	6	7	8	9	10
11	12											13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88	89-103	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)
Série de lantanídeos		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
Série de actinídeos		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	

Fonte: Seaborg (1969, p. 68).

Analisando as tabelas apresentadas nas Figuras 15 e 16, observamos um aumento significativo no número de elementos, bem como mais uma mudança em seu formato. Esse desenvolvimento resultou dos esforços para a construção da bomba atômica, em um dos episódios mais tristes da história recente. Como destacado por Seaborg, a “descoberta do plutônio e o desenvolvimento dos métodos para a sua fabricação ocorreram durante a última guerra e esta descoberta foi anunciada ao mundo quando uma bomba de plutônio atingiu a cidade de Nagasaki.” (SEABORG, 1969, p. 15).

Dentre os pesquisadores envolvidos nos trabalhos com os elementos transurânicos, destaca-se um grupo de cientistas americanos e outro de cientistas russos. Esses grupos disputaram a primazia na síntese e isolamento de novos elementos nos anos seguintes, em um contexto de Guerra Fria, nas décadas de 1950 a 1980 (LIMA; BARBOSA; FILGUEIRAS, 2019).

Recentemente, com o aprimoramento dos aceleradores de partículas, foram

obtidos os elementos superpesados, com número atômico maior do que 103. Em 2016, quatro novos elementos químicos foram reconhecidos: o nipônio, o moscóvio, o tennesso e o oganessônio, totalizando 118 elementos, completando a tabela proposta por Seaborg (Figura 17). Cabe registrar que novos elementos ainda são cogitados.

Tendo em vista os conceitos abordados até aqui e o panorama sobre a construção da tabela periódica apresentado, buscamos conhecer as abordagens para a tabela na pesquisa em ensino de Química. Assim, trazemos a seguir uma breve revisão da literatura da área.

## 2 ALGUNS ESTUDOS SOBRE A TABELA PERIÓDICA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS

Para compreender como a tabela periódica tem sido abordada na pesquisa no ensino de ciências, fizemos um levantamento das publicações em seis periódicos nacionais e um internacional: Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Ciência & Educação, Química Nova na Escola (QNEsc), Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC) e International Journal of Science Education. Também levantamos os trabalhos completos publicados nos anais de dois eventos da área: o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e o Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ).

Os periódicos foram escolhidos por serem representativos da área de ensino de ciências e apresentarem Qualis CAPES nos estratos A e B, enquanto os eventos reúnem pesquisadores de todo o país, trazendo um panorama das pesquisas em andamento. Efetuamos a busca pela palavra “tabela periódica” nos campos título, resumo e palavras-chave, no período de 2010 a 2022. Foram encontrados 59 trabalhos: um na Revista Ciência & Educação, um na Alexandria, quatorze na QNEsc, um na RBPEC, um na International Journal of Science Education, dez nos anais do ENPEC e trinta e um nos anais do ENEQ. Não foram encontradas publicações nas demais fontes de busca. O Quadro 1, abaixo, apresenta os autores, títulos e ano das publicações.

Quadro 1: Relação dos trabalhos encontrados por meio da revisão de literatura.

ANO	AUTORES E TÍTULOS
2010	1. Godoi, T. A. F.; Oliveira, H. P. M.; Codognoto, L. Tabela Periódica - Um Super Trunfo para alunos do Ensino Fundamental e Médio.
	2. Lima, K. O.; Silva, G. M.; Matos, M. S. Análise das dificuldades encontradas por alunos do Ensino Médio na construção de relações entre modelos atômicos, distribuição eletrônica e propriedades periódicas.
2011	3. Krüger, A. G.; Teixeira, M. L.; Aires, J. A Tabela Periódica a partir da abordagem História e Filosofia da Ciência: análise de uma proposta didática.
	4. Quadros, L. et al. Construção de Tabela Periódica e Modelo Físico do Átomo Para Pessoas com Deficiência Visual.
	5. Rocha-Filho, R. C.; Chagas, A. P. Os Pesos Atômicos deixam de ser constantes: Dez Elementos passam a ter intervalos de Pesos Atômicos.
2012	6. Abras, C. M. et al. Avaliando a aprendizagem dos alunos da primeira série do Ensino Médio em uma unidade didática sobre o tema tabela periódica.
	7. Drescher, C. F.; Oliveira, J. S.; Fernandes, L. S. Bingo Químico em Braille.
	8. Lima, W. F. et al. A robótica educacional no ensino de Química, elaboração,

	<p>construção e aplicação de um robô imóvel no ensino de conceitos relacionados à tabela periódica.</p> <p>9. Santos, M. M.; Roitman, R.; Bernstein, A. Inovação em sala de aula: como produzir um vídeo com recursos da Internet.</p>
<b>2013</b>	<p>10. Francisco, W.; Francisco Junior, W. E. Leitura e demonstração de experimentos por meio de vídeos: análise de uma proposta a partir da escrita dos estudantes.</p> <p>11. Saturnino, J. C. S. F.; Luduvico, I.; Santos, L. J. Pôquer dos Elementos dos Blocos s e p.</p>
<b>2014</b>	<p>12. Boesdorfer, S.; Lorsbach, A. PCK in Action: Examining one Chemistry Teacher's Practice through the Lens of her Orientation Toward Science Teaching.</p> <p>13. Calheiro, E. S. M.; Severo Filho, W. A.; Calheiro, N. Paródia musical: metodologias lúdicas como estratégia para estimular o aprendizado em Química.</p> <p>14. Coelho, P. P. B. et al. O Ensino da Tabela Periódica por meio de sequências didáticas contextualizadas.</p> <p>15. Cunha, M. B.; Peres, O. M. R.; Stanzani, E. L. Tabela Periódica: um material para atividade de classificação dos elementos.</p> <p>16. Freitas, L. P. S. R. et al. As Analogias na História das Ciências: Uma Análise de Suas Contribuições na Construção da História da Química.</p> <p>17. Lopes, C. B. et al. Racha a cuca: jogos lúdicos envolvendo símbolos e nomes dos elementos químicos.</p> <p>18. Moraes, M. D. et al. Tabela Periódica para deficientes visuais usando o sistema computacional DOSVOX.</p> <p>19. Reis, V. B.; Mangas, M. B. P.; Gomes, V. B. Tabela Periódica: Proposta de uma Sequência Didática na Perspectiva CTS-ARTE.</p> <p>20. Ribeiro, E. R. et al. Estratégias motivadoras para o ensino de Química: propostas do Pibid para a resignificação de conceitos.</p> <p>21. Sá, M. B. Z.; Vaisvila, L. R. A Química em nosso quintal.</p>
<b>2015</b>	<p>22. César, E. T.; Reis, R. C.; Aliane, C. S. M. Tabela Periódica Interativa.</p> <p>23. Silva, B.; Cordeiro, M. R.; Kiill, K. B. Jogo Didático Investigativo: Uma Ferramenta para o Ensino de Química Inorgânica.</p> <p>24. Souza, A. M. A.; Mozzer, N. B. Em busca da história perdida: Análise da aplicação de uma sequência de ensino centrada em um jogo didático sobre a Tabela Periódica.</p> <p>25. Targino, A. R. L.; Giordan, M. Textos literários de divulgação científica no ensino da lei periódica: potencialidades e limitações.</p>
<b>2016</b>	<p>26. Barreto, G. S. N. et al. História da Ciência nos livros didáticos de Química: Tabela Periódica como objeto de investigação.</p> <p>27. Ferreira, L. H.; Correa, K. C. S.; Dutra, J. D. Análise das estratégias de ensino utilizadas para o ensino da Tabela Periódica.</p> <p>28. Kundlatsch, A.; Silva, C. S. Análise da contribuição do desenho de estudantes sobre elementos químicos para o processo de ensino aprendizagem.</p> <p>29. Lima, J. F.; Paula, T. P.; Messeder, J. C. A tabela periódica na educação de jovens e adultos: um relato das visões de contextualização de professores de Química.</p> <p>30. Santos, A. M. S. et al. Tabela periódica montável: Uma proposta lúdica para a construção de materiais didáticos.</p> <p>31. Santos, E. A. R.; Guilardi Junior, F. Jogos teatrais no ensino da tabela periódica</p>

	<p>para estudantes da educação de jovens e adultos (EJA).</p> <p>32. Silva, S. F. et al. Uma atividade lúdica no processo ensino aprendizagem na disciplina de Química no Ensino Médio.</p> <p>33. Silveira, T. A.; Carvalho, M. R. A.; Leite, B. S. Uso do QUIPTABELA no ensino de Química: uma análise à luz da teoria da instrumentação.</p> <p>34. Targino, A. R. L.; Baldinato, J. O. Abordagem histórica da lei periódica nas coleções do PNLD 2012.</p> <p>35. Targino, A. R. L.; Giordan, M. Textos literários de divulgação científica na elaboração de uma Sequência Didática sobre Tabela Periódica.</p> <p>36. Zerger, K. F.; Melo, M. M. R.; Luca, A. G. Tabela periódica: elemento mediador para ensinar Química.</p>
<b>2017</b>	<p>37. Wuillda, A. C. J. S. et al. Educação ambiental no Ensino de Química: Reciclagem de caixas Tetra Pak® na construção de uma tabela periódica interativa.</p> <p>38. Franco-Patrocínio, S.; Fernandes, J. M.; Freitas-Reis, I. Um modelo tátil da tabela periódica: o ensino de Química para alunos cegos num contexto inclusivo.</p> <p>39. Lopes, A. Jogo de Uno e Bingo para o ensino da Tabela periódica dos elementos químicos.</p> <p>40. Pinto, A. M. V. et al. O dialogismo em texto de divulgação em livro didático de Química: um aporte para a temática da tabela periódica.</p>
<b>2018</b>	<p>41. Assunção, J. P. P. et al. Batalha Naval Química no Ensino Fundamental: Uma abordagem lúdica do conteúdo de Tabela Periódica.</p> <p>42. Fialho, N. N.; Vianna Filho, R. P.; Schmitt, M. R. O Uso de Mapas Conceituais no Ensino da Tabela Periódica: Um Relato de Experiência Vivenciado no PIBID.</p> <p>43. Oliveira, A. L. et al. O Jogo Educativo como Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química.</p> <p>44. Silva, F. C. A.; Santos, R. I. O uso de Textos de Divulgação Científica para o ensino de Química no PROEJA.</p>
<b>2019</b>	<p>45. Anjos, L. C. G.; Menon, A. Bernardelli, M. S. O Sabor da Tabela Periódica: Integrando Conceitos de Nutrição com o Ensino de Química.</p> <p>46. Assai, N. D. S.; Almeida, A. G. Desvendando a Organização dos Elementos da Tabela Periódica utilizando a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos.</p> <p>47. Montenegro, J. A.; Rodrigues, D. C. G. A. Desenvolvimento de uma Tabela Periódica Interativa como Aplicativo para o Ensino de Química.</p> <p>48. Rezende, F. A. M. et al. RAIQUIZ: Discussão de um Conceito de Propriedade Periódica por Meio de um Jogo Educativo.</p> <p>49. Vianna, N. S.; Cicuto, C. A. T.; Pazinato, M. S. Tabela Periódica: concepções de estudantes ao longo do Ensino Médio.</p> <p>50. Villar, R. P.; Kleinke, M. U.; Compiani, M. CiênciArte: uma abordagem artística e colaborativa para o ensino da tabela periódica.</p>
<b>2020</b>	<p>51. Gomes, R. V.; Mendes, A. N. F. Ensino de História da Química: Uma Proposta Didática para abordagem da Construção Histórica da Tabela Periódica na nova modalidade da EJA.</p> <p>52. Jantchc, G. X.; Silva, T. A. O uso do Software QuipTabela 4.01 na aplicação de uma sequência didática envolvendo propriedades periódicas e ligações peptídicas: uma proposta interdisciplinar.</p> <p>53. Lorenzetti, C. S.; Damasio, F.; Raicik, A. O ano internacional da Tabela</p>

	Periódica: Divulgação Científica e História da Ciência em pauta.
	54. Medeiros, P. C. V. B. et al. Ensino Inclusivo da Tabela Periódica Química.
	55. Santos, B. V. F. et al. Utilização de uma cruzadinha como recurso didático no PIBID.
	56. Silva, E. L.; Nascimento, H. H. F. Apagamento de uma trilha de descobertas desde Döbereiner: o efeito Mateus e o conhecimento dos professores.
<b>2021</b>	57. Leonardo Júnior, C. S. et al. Primo Levi e a divulgação da Ciência em materiais multimídia de uma exposição museográfica.
<b>2022</b>	58. Labarca, M.; Quintanilla-Gatica, M. R.; Izquierdo-Aymerich, M. El problema del grupo 3 de la Tabla Periódica: su enseñanza mediante la argumentación y la explicación científica: primera parte.
	59. 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.

Fonte: elaboração própria.

Dentre os trabalhos encontrados, destaca-se um grupo de artigos que apresentam o desenvolvimento de atividades de ensino da tabela periódica, principalmente voltadas para os estudantes da Educação Básica. Assim, visam proporcionar a aprendizagem de conceitos relacionados à tabela, como propriedades periódicas, nome, símbolo e número atômico dos elementos, entre outros. Há um maior número de propostas que lançam mão de atividades lúdicas, ocorrendo também a produção de materiais para o ensino da tabela periódica tais como softwares, vídeos e tabelas interativas, além de ferramentas voltadas para a inclusão de estudantes com necessidades específicas.

Em um segundo grupo de trabalhos estão relacionados aqueles que desenvolveram pesquisas, sejam elas de natureza interventiva ou descritiva, sobre a tabela periódica, mas sem trazer uma proposta para a sala de aula. Apresentam, por exemplo, pesquisas que buscam compreender concepções de estudantes e professores sobre a tabela periódica, discutir aspectos históricos de sua construção, analisar livros didáticos e materiais de divulgação, entre outros. Assim, a apresentação do material levantado será dividida em dois grupos: Atividades de ensino; Pesquisas sobre a tabela periódica.

## 2.1 ATIVIDADES DE ENSINO DA TABELA PERIÓDICA

Do total de trabalhos encontrados por meio da revisão de literatura, 41 discutem o desenvolvimento de atividades visando o ensino de conteúdos relacionados à tabela periódica. Os trabalhos destacam a importância deste conteúdo, por ser base para a compreensão de outros temas, como as ligações, as interações intermoleculares e as

reações (SOUZA; MOZZER, 2015). De forma geral, os autores apontam para a dificuldade dos estudantes, visto que seu ensino normalmente é baseado na memorização de um grande número de informações (símbolos e nomes dos elementos, famílias, etc.), sem um significado para os alunos (ABRAS et al., 2012; SOUZA; MOZZER, 2015; ZERGER; MELO; LUCA, 2016).

Para Zerger, Melo e Luca (2016), ao valorizar a memorização, não se consideram os significados construídos pelos estudantes a partir da leitura da tabela periódica. Por outro lado, os autores a compreendem como um recurso didático, elemento mediador entre o estudante e o mundo que o cerca. Assim, as propostas apresentadas visam superar uma abordagem tradicional de ensino, lançando mão de atividades que geram maior engajamento dos estudantes.

Com relação aos níveis de ensino, observamos um maior número de propostas voltadas para o Ensino Médio. Também encontramos trabalhos voltados para o Ensino Fundamental, para a Educação de Jovens e Adultos (EJA) e uma proposta desenvolvida no âmbito de um curso pré-vestibular. Destacamos que somente uma atividade apontou ter sido realizada com estudantes do Ensino Superior do curso de Licenciatura em Química. Além disso, algumas propostas não especificaram o segmento de ensino a que se destinaram, especialmente aqueles trabalhos que desenvolveram materiais voltados para a inclusão de pessoas com necessidades específicas.

As propostas de ensino utilizam diferentes recursos, dentre eles: atividades lúdicas, atividades de construção de tabelas, aulas teóricas e experimentais, mapas conceituais, tecnologias da informação e comunicação (TIC), teatro científico, textos de divulgação científica, entre outros. Para melhor discussão dos trabalhos, fizemos um agrupamento com base nos recursos utilizados pelos autores, o qual é apresentado no

Quadro 2, abaixo. Ressaltamos que alguns autores mesclam diferentes propostas e, por isso, aparecem em duas categorias.

Quadro 2: Propostas de ensino encontradas na revisão de literatura.

<b>Proposta</b>	<b>Número de trabalhos</b>	<b>Autores</b>
<b>Atividades lúdicas</b>	15	Assunção et al. (2018); Calheiro, Severo Filho e Calheiro (2014); Drescher, Oliveira e Fernandes (2012); Godoi, Oliveira e Codognoto (2010); Lopes (2017); Lopes et al. (2014); Oliveira et al. (2018); Ribeiro et al. (2014); Saturnino, Luduvico e Santos (2013); Silva et al. (2016); Silva, Cordeiro e Kiill (2015); Souza e Mozzer (2015);

		Santos et al. (2020); Villar, Kleinke e Compiani (2019); Rezende et al. (2019).
<b>Utilização de tecnologias da informação e comunicação</b>	06	Lima et al. (2012); Moraes et al. (2014); Santos, Roitman e Bernstein (2012); Silveira, Carvalho e Leite (2016); Jantchc e Silva (2020); Montenegro e Rodrigues (2019).
<b>Recursos pedagógicos para acessibilidade</b>	05	Drescher, Oliveira e Fernandes (2012); Fernandes e Freitas-Reis (2017); Franco-Patrocínio, Quadros et al. (2011); Moraes et al. (2014); Medeiros et al. (2020).
<b>História da tabela periódica</b>	05	Krüger, Teixeira e Aires (2011); Santos e Guilardi Junior (2016); Souza e Mozzer (2015); Zerger, Melo e Luca (2016); Gomes e Mendes (2021).
<b>Atividades de leitura e escrita</b>	03	Francisco e Francisco Junior (2013); Targino e Giordan (2016); Silva e Santos (2018).
<b>Outras atividades</b>	10	Abras et al. (2012); Coelho et al. (2014); Cunha, Peres e Stanzani (2014); Fialho, Vianna Filho e Schmitt (2018); Kundlatsch e Silva (2016); Reis, Mangas e Gomes (2014); Sá e Vaisvila (2014); Santos et al. (2016); Wuillda et al. (2017); Assai e Almeida (2019).

Fonte: Elaboração própria.

### 2.1.1 ATIVIDADES LÚDICAS

Dentre as diferentes propostas, as atividades lúdicas foram objeto de 15 trabalhos, desenvolvidos principalmente em turmas do Ensino Médio. Foram feitas, também, propostas para o Ensino Fundamental (ASSUNÇÃO et al., 2018; GODOI; OLIVEIRA; CODOGNOTO, 2010) e para a Educação de Jovens e Adultos (LOPES, 2017).

Souza e Mozzer (2015) apontam que os jogos didáticos são uma forma de aliar o aprendizado a uma atividade prazerosa, proporcionando o engajamento do estudante. Nas aulas, os jogos auxiliam na familiarização com a linguagem química e na apreensão de conhecimentos que servem de base para outros conceitos. Contribuem, ainda, para o desenvolvimento de habilidades de “resolução de problemas, percepção, criatividade, raciocínio rápido, entre outros” (ASSUNÇÃO et al., 2018, p. 1169).

Dentre as atividades desenvolvidas, estão jogos de cartas, como o “Pôquer dos Elementos dos Blocos s e p”, o “Super Trunfo da Tabela Periódica” e o “Uno da Química”, baseados em jogos já existentes. O jogo “Pôquer dos Elementos dos Blocos s e p” permitiu aos estudantes relacionar a distribuição eletrônica dos elementos à sua posição na tabela periódica (SATURNINO; LUDUVICO; SANTOS, 2013). O jogo

“Super Trunfo da Tabela Periódica” permitiu uma maior familiarização dos estudantes com algumas propriedades dos elementos: número atômico, massa atômica, ponto de ebulição, ponto de fusão, densidade, eletronegatividade e configuração eletrônica (GODOI; OLIVEIRA; CODOGNOTO, 2010; RIBEIRO et al., 2014). O jogo “Uno da Química” teve por finalidade relacionar os elementos à família a que pertencem (LOPES, 2017).

Atividades do tipo bingo foram desenvolvidas por Drescher, Oliveira e Fernandes (2012), Lopes (2017), Ribeiro et al. (2014) e Silva et al. (2016). De forma geral, esse jogo permitiu aos estudantes relacionar o nome do elemento ao seu símbolo, número atômico, dentre outras características. Destacamos a proposta de Drescher, Oliveira e Fernandes (2012) que desenvolveram um bingo químico em Braille. As autoras adaptaram as cartelas utilizando materiais simples e de baixo custo, permitindo a inclusão de um aluno com deficiência visual.

O conteúdo tabela periódica também foi trabalhado por meio de jogos de tabuleiro. Assunção et al. (2018) trouxeram a proposta de construção do jogo “Batalha Naval Química”, no qual o tabuleiro do jogo corresponde à tabela periódica e as cartas trazem informações sobre os elementos químicos. Na proposta de Oliveira et al. (2018), os estudantes construíram um tabuleiro em formato de tabela periódica e 114 cartas contendo as informações sobre cada elemento. Durante o jogo, os estudantes deveriam localizar os elementos a partir das informações contidas na carta, principalmente a distribuição eletrônica. Rezende et al. (2019) propuseram uma atividade, a estudantes do Ensino Médio, de perguntas e respostas sobre a propriedade periódica de raio atômico, inspirada no jogo “Banco Imobiliário”. Os autores apontam que a atividade favoreceu a aprendizagem e colocou os estudantes como protagonistas no processo de construção de conhecimentos.

Um jogo de tabuleiro com caráter investigativo foi desenvolvido por Silva, Cordeiro e Kiill (2015). Para a criação, as autoras se basearam no jogo Scotland Yard e na metodologia de ensino de estudo de casos. Nele, os estudantes recebem casos que apresentam uma problemática a ser resolvida a partir de pistas encontradas ao longo do jogo. Os autores abordaram diferentes conteúdos de Química Inorgânica e, dentre eles, assuntos referentes à tabela periódica.

Jogos do tipo dominó, jogo da memória, forca e baralho também foram utilizados por Lopes et al. (2014), proporcionando aos estudantes uma maior familiarização com nomes e símbolos dos elementos. Souza e Mozzer (2015) buscaram trazer a história da

tabela periódica por meio da atividade “Em busca da história perdida”, a qual consistiu em um jogo do tipo caça ao tesouro. Nesta atividade, os estudantes recebiam cartas em que eram propostos enigmas sobre descobertas científicas, levando os estudantes a uma visão da construção da tabela. Calheiro, Severo Filho e Calheiro (2014) exploraram a ludicidade por meio da criação de paródias e Santos et al. (2020) desenvolveram uma atividade de palavras cruzadas. A ludicidade também foi explorada por Villar, Kleinke e Compiani (2019), por meio de uma atividade interdisciplinar envolvendo Química, Português e Artes. Os estudantes representaram por meio de imagens e poemas os elementos químicos, os quais foram reunidos em uma exposição sobre a tabela periódica.

De forma geral, as propostas apresentadas aqui trazem como objetivos promover a fixação e maior compreensão sobre a periodicidade dos elementos químicos, sua configuração eletrônica e localização na tabela periódica. Também propiciam a familiarização dos estudantes com os nomes, símbolos, número atômico, massa atômica e outras propriedades físicas e químicas dos elementos.

### 2.1.2 UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

As TIC estão presentes em diversos âmbitos da sociedade, agregam diferentes recursos tecnológicos e envolvem simuladores, aplicativos, blogs, softwares, entre outros (JANTCHC; SILVA, 2020). A inserção de TIC em sala de aula é uma alternativa que possibilita aulas mais dinâmicas, facilita o processo de ensino e aprendizagem e aproxima o ensino da realidade dos estudantes, os quais estão imersos em um contexto tecnológico desde a infância (SILVEIRA; CARVALHO; LEITE, 2016). Dentro desta perspectiva, encontramos seis trabalhos que propõem a abordagem da tabela periódica a partir de tecnologias da informação e comunicação.

Moraes et al. (2014) utilizaram o software DOSVOX, que converte texto em voz, para auxiliar estudantes cegos na manipulação da tabela periódica. Lima et al. (2012) desenvolveram um robô do tipo imóvel, chamado robô imóvel tabela periódica. Nele foram afixadas pequenas lâmpadas que iluminam a tabela de acordo com comandos feitos pelos alunos, mostrando tendências periódicas. Montenegro e Rodrigues (2019) desenvolveram um software que apresenta uma tabela periódica interativa, e possibilita trabalhar propriedades periódicas, distribuição eletrônica e conceitos relacionados às ligações químicas.

Apesar das dificuldades e desafios que professores enfrentam na abordagem da

tabela periódica, encontramos somente um trabalho desenvolvido com licenciandos em Química. Silveira, Carvalho e Leite (2016) desenvolveram uma proposta de ensino com uma turma do 1º semestre do curso de Licenciatura em Química, na disciplina Química 1. Os autores trouxeram uma proposta utilizando o software QuipTabela, o qual apresenta informações sobre os elementos: propriedades, dados sobre a descoberta dos elementos, biografias, entre outras. Embora a atividade tenha sido desenvolvida com estudantes da Licenciatura, não foi relatado o debate de questões relacionadas ao ensino deste conteúdo. Uma proposta que também utilizou o software QuipTabela foi apresentada por Jantche e Silva (2020), que trabalharam de forma interdisciplinar com a disciplina Biologia os conteúdos tabela periódica e ligação peptídica.

Santos, Roitman e Bernstein (2012) produziram um vídeo sobre a tabela periódica, a partir de recursos disponíveis gratuitamente na internet. O vídeo seguiu o roteiro: introdução histórica, organização dos elementos na tabela, distribuição eletrônica e propriedades periódicas. Os autores apontam o uso do vídeo como um estímulo para a aprendizagem dos estudantes e motivador de discussões em sala de aula.

As atividades relatadas se apropriam das TIC para o ensino e aprendizagem de conteúdos relacionados à tabela periódica. Os recursos podem auxiliar os professores na inclusão de estudantes com necessidades específicas e na discussão de conteúdos, potencializando novas aprendizagens.

### 2.1.3 RECURSOS PEDAGÓGICOS PARA ACESSIBILIDADE

A inclusão de alunos com necessidades específicas foi discutida em cinco trabalhos. Franco-Patrocínio, Fernandes e Freitas-Reis (2017) apontam como fatores que contribuem para a baixa aprendizagem destes estudantes a falta de materiais adaptados e de formação adequada dos professores. Nesse sentido, Medeiros et al. (2021) discutem a importância das tecnologias assistivas, entendidas como recursos para ampliar as habilidades funcionais de pessoas com deficiência, as quais devem ser construídas no ambiente escolar, visando a aprendizagem dos estudantes. Dentre essas tecnologias, os artigos destacam os materiais didáticos adaptados.

Quadros et al. (2011) ressalta que a visão é um sentido extremamente utilizado no ambiente escolar, sendo a disciplina Química também muito visual. Assim, estudantes cegos apresentam muita dificuldade em seu aprendizado. Visando suprir essas necessidades, Drescher, Oliveira e Fernandes (2012) desenvolveram um bingo em Braille,

já abordado na seção “Atividades lúdicas”. Medeiros et al. (2020) desenvolveram uma tabela periódica que pode ser montada e desmontada pelos estudantes. Para a sua construção, os autores utilizaram pequenas caixas de acrílico com a indicação visual e em Braille do símbolo, nome, número atômico e número de massa dos elementos. As caixas apresentam cores para diferenciação de metais, ametais e gases nobres.

Franco-Patrocínio, Fernandes e Freitas-Reis (2017) desenvolveram uma tabela periódica tátil para auxiliar na aprendizagem de estudantes cegos e de baixa visão. Para construção da tabela, as autoras utilizaram materiais com diferentes texturas para compor o fundo, a fim de diferenciar metais, ametais e gases nobres, bem como o estado físico dos elementos. As informações de número atômico, número de massa e nome do elemento foram apresentadas em Braille. Para validação do material produzido, a tabela foi apresentada a dois cegos que apontaram as contribuições do material na aprendizagem do conteúdo. Na proposta de Quadros et al. (2011), foram utilizadas caixas de fósforos para representar os elementos químicos. As caixas foram cobertas com materiais de diferentes texturas a fim de diferenciar os grupos, e as legendas foram feitas em Braille.

Moraes et al. (2014) programaram o software DOSVOX para realizar a leitura de informações presentes na tabela periódica: símbolo dos elementos, número atômico, massa atômica, família, período, aplicações, entre outros. Os autores destacam que o software oferece aos alunos cegos informações presentes nos livros didáticos, mas que não são acessíveis a eles.

Apresentamos nesta seção, portanto, trabalhos que trouxeram uma proposta de educação inclusiva. Como destacado por Franco-Patrocínio, Fernandes e Freitas-Reis (2017), garantir a matrícula de estudantes com necessidades específicas não basta para incluí-los no processo educacional. É necessário rever concepções, metodologias, materiais, entre outros, de forma a potencializar o desenvolvimento de todos os alunos. Para tanto, Medeiros et al. (2020) destaca que não basta promover um atendimento separado dos demais, mas deve-se proporcionar atividades que envolvam a todos em sala de aula. Assim, é urgente o desenvolvimento de mais propostas semelhantes a estas, de forma a alcançar uma quantidade maior de estudantes com necessidades específicas, construindo uma escola inclusiva.

#### 2.1.4 HISTÓRIA DA TABELA PERIÓDICA

Segundo Gomes e Mendes (2021), embora a tabela periódica chame a atenção dos

estudantes e seja reconhecida como um símbolo da Química, sua abordagem em sala de aula se baseia na memorização e não trata os aspectos históricos adequadamente. Talvez por esse motivo, encontramos por meio da revisão de literatura somente cinco propostas de ensino que enfatizam a história da tabela periódica, as quais são apresentadas a seguir.

Santos e Guilardi Junior (2016) elaboraram dois roteiros teatrais, encenados por estudantes da EJA, os quais retratavam episódios históricos da construção da tabela periódica. Zerger, Melo e Luca (2016) desenvolveram uma unidade de ensino com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental, que mesclou aulas teóricas sobre a história da tabela periódica, com a realização de atividades experimentais e de construção de uma tabela. O trabalho de Souza e Mozzer (2015), apresentado na seção “Jogos Didáticos”, trouxe a história da tabela periódica por meio do jogo “Em busca da história perdida”. Os autores apontam para o envolvimento dos estudantes na atividade, a qual proporcionou o trabalho em equipe, a busca por informações, a leitura e a construção de conceitos.

Krüger, Teixeira e Aires (2011) desenvolveram uma unidade de ensino baseada em aulas expositivas, exibição de vídeos e resolução de exercícios, abordando a história de construção da tabela periódica. A proposta culminou na realização de um júri simulado, no qual cada grupo de alunos deveria defender uma das propostas de organização dos elementos químicos. Os autores apontam que o desenvolvimento da unidade de ensino proporcionou aos estudantes não só conhecer a história, mas também desenvolver conceitos relacionados às propriedades periódicas.

A proposta de Gomes e Mendes (2021) foi desenvolvida junto a uma turma de EJA no formato semipresencial, ou seja, com aulas presenciais e a distância. Foram trabalhados aspectos históricos da classificação dos elementos, visando a uma compreensão de como se deu esse processo, bem como de características do desenvolvimento científico. A sequência de ensino desenvolvida abarcou uma dinâmica de classificação de elementos fictícios e posteriormente de elementos reais, visando uma aproximação com o processo histórico, o uso de vídeos, discussões em sala de aula, entre outras atividades.

Vemos, portanto, diversas possibilidades para a abordagem de aspectos históricos relacionados à tabela periódica. Esses se fazem necessários pois, por vezes, a tabela periódica é apresentada aos estudantes como uma criação feita por Mendeleev, sem se discutir os caminhos percorridos por ele e nem os conhecimentos que serviram de base para sua proposta, contribuindo para o desenvolvimento de visões equivocadas de Ciência e cientista (ZERGER; MELO; LUCA, 2016). Segundo Krüger, Teixeira e Aires (2011),

baseados em ampla literatura da área, a inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino busca romper com essas visões, pois mostra a Ciência como uma construção humana, de caráter provisório, desenvolvimento não linear e influenciado pelo contexto social e histórico da época. Também rompe com visões estereotipadas de cientistas, como grandes gênios, malucos e solitários.

### 2.1.5 ATIVIDADES DE LEITURA E ESCRITA

A tabela periódica também foi trabalhada por meio de atividades de leitura e escrita de textos. Essa abordagem foi encontrada em três dos artigos levantados, os quais trazem diferentes concepções de leitura em seus trabalhos. Em comum, eles levam para a sala de aula textos de divulgação científica.

Francisco e Francisco Junior (2013) compreendem a leitura a partir de uma perspectiva freiriana, como não só leitura da palavra a partir da experiência histórico-social do sujeito, mas também como possibilidade de intervenção na realidade. Para os autores, a leitura possibilita a mediação entre os sentidos e a cognição e, para tanto, é preciso repensar a relação dos estudantes com os textos e os objetivos da leitura.

Francisco e Francisco Junior (2013) trabalharam, no âmbito de um curso pré-vestibular, com atividades de leitura e escrita, associadas à exibição de vídeos com demonstrações experimentais. Após a exibição dos vídeos, foi realizada a leitura de um excerto da obra de DC “Tio Tungstênio: Memórias de uma Infância Química”, de Oliver Sacks, que dialogava com o experimento exibido em vídeo. Tanto os vídeos quanto o texto faziam referência às reações e propriedades dos metais alcalinos. Em seguida, os estudantes foram direcionados a escrever suas observações, explicando os fenômenos. Foram abordados conceitos relacionados à tabela periódica e às propriedades dos metais alcalinos.

Ao longo do desenvolvimento das atividades, Francisco e Francisco Junior (2013) observaram uma evolução dos estudantes, que inicialmente realizavam cópias do texto para fornecer as explicações solicitadas. Posteriormente, os estudantes passaram a uma escrita própria, indicando uma apropriação do texto e o diálogo com seus conhecimentos prévios. Destaca-se nesse processo a importância da mediação do professor, discutindo o tema e estimulando a atividade de escrita.

Silva e Santos (2018) trabalharam com textos de DC elaborados pelos próprios autores, em uma turma do Programa de Integração da Educação Profissional Técnica de

Nível Médio ao Ensino Técnico na Modalidade de Jovens e Adultos – PROEJA. Os autores compreendem a DC como uma forma de promover a alfabetização científica e a formação do cidadão, por meio de uma linguagem mais acessível. Com relação à tabela periódica, os textos elaborados discutiam a organização dos elementos e sua identificação. Os autores apontam que a inserção da DC em sala de aula funcionou como um fator motivador à aprendizagem, estimulando a prática da leitura e a discussão dos assuntos abordados.

O terceiro artigo encontrado (TARGINO; GIORDAN, 2016) traz como concepção de linguagem e leitura a proposta de Marcushi (2008), que compreende que ler não é só decodificar símbolos. A leitura é tomada como um processo de interação, pois a língua é uma atividade social que leva em consideração o contexto em que se situa. É também um processo ativo, que exige do leitor um posicionamento crítico diante dos textos.

Targino e Giordan (2016) discutem a elaboração de uma sequência didática sobre a tabela periódica, na qual foram propostas diferentes atividades de ensino, dentre elas a leitura de textos literários de divulgação científica (TLDC). Para elaboração da sequência didática, inicialmente os autores analisaram diferentes TLDC para verificar suas potencialidades e, assim, selecionar os trechos a serem utilizados. Como critérios de análise, os autores apontam a escolha de um tema que permita a discussão do conteúdo, a utilização de uma linguagem que leva a um maior envolvimento dos estudantes, e os aspectos epistemológicos e socioculturais presentes nas obras. Assim, foram utilizados excertos de três obras: “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, de Sam Kean; “Tio Tungstênio: Memórias de uma Infância Química”, de Oliver Sacks; e “A Tabela Periódica”, de Primo Levi.

Como temática para as aulas, os autores optaram por trabalhar com a atividade de mineração, escolhendo, para tanto, trechos que abordavam as propriedades de diferentes elementos e sua ocorrência na natureza. Assim, desenvolveram uma sequência didática intitulada “Elementos químicos na natureza e na sociedade: o desastre socioambiental do Rio Doce”. Além da leitura dos excertos, foram utilizados outros recursos didáticos, como gráficos representando propriedades periódicas, vídeos, simuladores, experimentos e outros. Por fim, os autores apontam que os TLDC contribuem para dar mais sentido à aprendizagem, por possibilitarem a contextualização dos conteúdos. Entretanto, sozinhos eles não são suficientes para que o estudante compreenda a periodicidade química (TARGINO; GIORDAN, 2016).

Diante do exposto, destacamos as possibilidades de utilização da DC para a contextualização do conhecimento científico relativo aos elementos químicos, suas características, aplicações e ocorrência na natureza. Tal abordagem contribui para aproximar a Química do dia a dia dos estudantes, indo além da simples memorização das propriedades dos elementos. Entretanto, como destacado por Targino e Giordan (2016) é necessária uma análise das obras a fim de explorar suas potencialidades e aspectos que precisam ser melhor debatidos em sala de aula, bem como estudos sobre como pode ser feita a inserção destes textos em sala de aula.

#### 2.1.6 OUTRAS ATIVIDADES

Agrupamos nesta seção os trabalhos que apresentaram abordagens de ensino para o conteúdo tabela periódica diferentes das já citadas anteriormente. Eles foram incluídos em um bloco único por serem poucos de cada estratégia, ou por combinarem diferentes atividades em uma única unidade de ensino.

Quatro propostas trouxeram atividades de construção de uma tabela periódica pelos estudantes: Cunha, Peres e Stanzani (2014), Santos et al. (2016), Wuillda et al. (2017) e Assai e Almeida (2019). Santos et al. (2016) propuseram aos estudantes a montagem de uma tabela periódica com materiais de baixo custo. Wuillda et al. (2017), fundamentados nos pressupostos da Educação Ambiental, propuseram uma atividade de construção de uma tabela periódica interativa a partir da reciclagem de embalagens Tetra Pak®. Na proposta de Cunha, Peres e Stanzani (2014), os autores distribuíram cubos representativos dos elementos aos estudantes, que deveriam organizá-los a partir das informações sobre densidade, estado físico e afinidade eletrônica. Assim, os estudantes tentaram montar a tabela periódica a partir de diferentes critérios, com o objetivo de perceber que a organização dos elementos não é aleatória, mas ocorre a partir de princípios de classificação. Os autores apontam para a compreensão da tabela periódica como uma das formas possíveis de organização dos elementos, mas não a única.

A preocupação em compreender os princípios de organização da tabela periódica também guiou o trabalho de Assai e Almeida (2019). Os autores propuseram uma atividade que envolve a problematização inicial com uma dinâmica de organização de diferentes materiais, um momento de leituras e discussões teóricas sobre a tabela periódica e, por fim, a aplicação do conhecimento construído com a retomada da atividade inicial. A sequência didática contribuiu com um melhor entendimento dos critérios de

organização dos elementos químicos, indo além da memorização de informações.

Reis, Mangas e Gomes (2014), ancorados na abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Arte (CTS-ARTE), exploraram as possibilidades de um episódio do anime Fullmetal Alchemist (Alquimista de Aço) com estudantes do 1º ano do Ensino Médio, realizando diferentes atividades: fórum de discussão, jogos e a criação de uma arte pelos alunos.

Sá e Vaisvila (2014) desenvolveram um projeto com a temática “O quintal e as proximidades da escola”, com o objetivo de levar os estudantes a perceberem a presença dos elementos químicos no solo e nos alimentos, relacionando-os às suas funções no organismo. Neste projeto foram desenvolvidas diferentes atividades: exibição de vídeos, experimentos, oficinas de filmagem, elaboração de documentário, levantamento botânico, utilização de jogos, entre outros. Os autores apontam para o engajamento dos estudantes e o ensino mais contextualizado da tabela periódica.

Fialho, Vianna Filho e Schmitt (2018) propuseram a criação de mapas conceituais. Em um primeiro momento, foram realizadas discussões teóricas sobre os conteúdos relacionados e, em seguida, a construção dos mapas com o auxílio do professor. Apesar das dificuldades encontradas pelos estudantes, os autores destacam a atividade como positiva, por proporcionar a reflexão, a troca de ideias e a construção de conhecimentos.

Mapas conceituais também foram utilizados em uma unidade de ensino elaborada por Abras et al. (2012). Na unidade, os autores exploraram ainda um jogo de cartas, um vídeo apresentando o contexto histórico de desenvolvimento da tabela e aulas teóricas para discussão das propriedades periódicas. Por meio dos mapas conceituais, os estudantes conseguiram relacionar diferentes termos trabalhados ao longo da unidade, apontando para uma boa compreensão do conteúdo.

Coelho et al. (2014) também propuseram uma unidade de ensino combinando diferentes atividades: exibição de um vídeo sobre Mendeleev, montagem de uma tabela periódica, discussão sobre as propriedades periódicas e uma atividade de pesquisa sobre os elementos químicos. Os autores avaliam positivamente a proposta, que possibilitou um ensino contextualizado.

Kundlatsch e Silva (2016) desenvolveram uma atividade na qual os estudantes deveriam realizar uma pesquisa sobre os elementos químicos e apresentar os resultados por meio do texto escrito e de desenhos. Assim, o estudo da tabela periódica se deu no sentido de conhecer os elementos químicos e suas aplicações. Com a atividade, os autores buscaram compreender a relação entre os desenhos e as explicações escritas pelos

estudantes, bem como o papel do desenho no processo de ensino e aprendizagem de Química. Para os autores, o uso dos desenhos contribui para maior engajamento dos estudantes nas atividades e oferece potencialidades, mas é uma área que ainda carece de mais pesquisas.

Os trabalhos apresentados até o momento apontam que, apesar da importância da tabela periódica para a Química, os estudantes apresentam dificuldades em compreendê-la, visto que muitas vezes seu ensino é baseado na memorização de informações. Assim, boa parte das estratégias de ensino desenvolvidas visam discutir alternativas para a aprendizagem deste conteúdo. A seguir, apresentamos os artigos de pesquisa sobre a tabela periódica.

## 2.2 PESQUISAS SOBRE A TABELA PERIÓDICA

Apresentamos nesta seção trabalhos encontrados por meio da revisão de literatura que não trazem propostas de ensino, mas abordam a tabela periódica a partir da pesquisa. São artigos sobre concepções de estudantes e professores, revisão de literatura, análise de livros didáticos, trabalhos de divulgação científica e abordagem de aspectos históricos do desenvolvimento da tabela periódica. O Quadro 3, abaixo, lista os trabalhos agrupados por categoria, e, a seguir, apresentamos cada proposta.

Quadro 3: Trabalhos de pesquisa encontrados na revisão de literatura.

<b>Proposta</b>	<b>Número de trabalhos</b>	<b>Autores</b>
<b>Concepções de estudantes e professores</b>	06	Lima, Paula e Messeder (2016); Lima, Silva e Matos (2010); Silva e Nascimento (2020); Anjos, Menon e Bernardelli (2019); Vianna, Cicuto e Pazinato (2019); Boesdorfer e Lorsbach (2014).
<b>Revisão de literatura</b>	01	Ferreira, Correa e Dutra (2016).
<b>Análise de livros didáticos</b>	03	Barreto et al. (2016); Pinto et al. (2017); Targino e Baldinato (2016).
<b>Aspectos históricos</b>	03	Freitas et al. (2014); Rocha-Filho e Chagas (2011); Labarca, Quintanilla-Gatica e Izquierdo-Aymerich (2022).
<b>Divulgação científica</b>	05	César, Reis e Aliane (2015); Targino e Giordan (2015); Lorenzetti, Damasio e Raicik (2020); Leonardo Júnior et al. (2021); Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022).

Fonte: Elaboração própria.

### 2.2.1 CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES E PROFESSORES

Seis dos trabalhos encontrados procuraram conhecer as concepções de estudantes e professores sobre a tabela periódica. Agrupamos esses trabalhos nessa categoria pois são identificados pelos próprios autores como pesquisa. Embora em alguns sejam desenvolvidas atividades com os estudantes, essas são apropriadas pelos autores como instrumentos de produção de dados para a investigação.

Pensando as necessidades específicas da EJA, Lima, Paula e Messeder (2016) investigaram, por meio de entrevistas, a prática de cinco professores ao abordarem o conteúdo tabela periódica. Apesar de considerarem esse tema de grande importância, os professores entrevistados apresentam dificuldades para contextualizá-lo, restringindo-se à exemplificação do uso dos elementos no cotidiano. Desta forma, a abordagem do conteúdo fica muito pautada na memorização, sendo necessário o desenvolvimento de novas metodologias para o seu ensino.

A pesquisa de Boesdorfer e Lorsbach (2014) se concentrou na prática de uma professora de Química nos Estados Unidos, em uma turma de nível correspondente ao Ensino Médio no Brasil. Tendo como referencial teórico o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK), os autores investigaram como as crenças da professora sobre o ensino de ciências influenciavam em sua prática de sala de aula ao ensinar tabela periódica. Embora o foco da pesquisa não esteja na tabela periódica, destacamos que os objetivos da sequência proposta pela professora giravam em torno do reconhecimento de padrões para a classificação dos elementos. Assim, boa parte das atividades envolviam o fornecimento de dados aos estudantes para que identificassem os padrões de comportamento. Os autores destacam que os objetivos da professora foram focados no conteúdo e nas avaliações, sem conexões com o porquê ensinar, justificativa que girava em torno de ensinar porque estava no livro didático.

Na pesquisa realizada com professores de Química por Silva e Nascimento (2020), foram observados apagamentos que ocorrem na história da tabela periódica quando este conteúdo é levado para a sala de aula. Os resultados demonstram um apagamento da dinâmica de construção do conhecimento científico, de fatos e cientistas, com a menção central a Mendeleev. Os autores ressaltam que isso pode ser um reflexo do processo de formação inicial desses professores, que não tem proporcionado uma abordagem satisfatória da História da Ciência.

O trabalho de Lima, Silva e Matos (2010) investigou as concepções de estudantes

acerca da estrutura da matéria e sua relação com a distribuição eletrônica, localização na tabela periódica e propriedades periódicas dos elementos químicos. Para tanto, os autores desenvolveram uma pesquisa com 88 estudantes de 1º e 2º anos do Ensino Médio, utilizando como instrumentos para produção de dados questionários e uma atividade de representação de um átomo.

Os autores apontaram para a dificuldade dos estudantes em compreender a constituição dos átomos, em relacionar a distribuição eletrônica com a localização dos elementos na tabela periódica, bem como de estabelecer relações entre as propriedades raio atômico e eletronegatividade. Para os autores, os estudantes memorizam as informações, sem conseguir relacionar conteúdos que, apesar de estarem interligados, são abordados nas escolas de forma fragmentada (LIMA; SILVA; MATOS, 2010).

Vianna, Cicuto e Pazinato (2019) também investigaram concepções de estudantes do Ensino Médio acerca da tabela periódica. De forma geral, foi observado que persiste uma ideia de necessidade de memorização da tabela periódica, e os estudantes apresentam dificuldades em consultar informações sobre os elementos na tabela. Ocorre também uma concepção equivocada sobre a sua construção e dificuldade em estabelecer relações entre as propriedades dos elementos e suas aplicações no dia a dia. Os autores ressaltam a necessidade de uma abordagem contextualizada histórica e socialmente, de forma que as informações contidas na tabela periódica façam sentido para os estudantes, indo além da sua simples memorização para exames.

Outra pesquisa com estudantes do 1º ano do Ensino Médio foi realizada por Anjos, Menon e Bernardelli (2019), a fim de verificar as conexões estabelecidas entre os elementos químicos e os alimentos. O tema alimentação foi escolhido tendo em vista que é bem explorado no ensino. Os autores apontam que, de forma geral, os estudantes percebem a presença da química no corpo humano, compreendem a importância de uma alimentação balanceada e são capazes de relacionar os elementos químicos às suas fontes nos alimentos. Esse pode ser considerado, portanto, um tema de interesse dos estudantes e que permite a abordagem de forma contextualizada dos elementos químicos e a tabela periódica.

Apesar de investigarem pontos de vista diferentes, os trabalhos trazem conclusões que podem estar interligadas, pois a dificuldade dos professores em abordar o conteúdo tabela periódica pode se refletir na aprendizagem dos estudantes. Esses resultados nos apontam para a necessidade de pensar o ensino da tabela periódica a partir de estratégias que não se pautem na memorização de dados, levando essa discussão para os cursos de

formação de professores.

### 2.2.2 REVISÃO DE LITERATURA

Ferreira, Correa e Dutra (2016) fizeram uma revisão de literatura visando conhecer alternativas didáticas que facilitem a aprendizagem sobre a tabela periódica. Para tanto, os autores fizeram uma busca, sem demarcação temporal, nas seguintes bases de dados: Portal de Periódicos CAPES, Web of Science, Google e Google Acadêmico. Dentre os 43 trabalhos encontrados, 29 trazem estratégias de ensino, sendo a principal delas o uso dos jogos, correspondendo a 14 trabalhos. Também aparecem na revisão o desenvolvimento de material para alunos com necessidades específicas, o uso de TIC, entre outros. Dentre os trabalhos levantados pelos autores, três trazem a inserção da história da tabela periódica como uma estratégia de ensino.

Os autores apontam as potencialidades das atividades como motivadoras para a aprendizagem, reforçando o uso de TIC e da abordagem de aspectos históricos como um estímulo aos estudantes. Por outro lado, sinalizam o cuidado com a utilização de atividades lúdicas no ensino, de forma que os aspectos conceituais não sejam deixados em segundo plano. Também destacam as dificuldades dos professores para inserção das TIC no ensino, decorrentes de falhas na formação dos mesmos (FERREIRA; CORREA; DUTRA, 2016).

### 2.2.3 ANÁLISE DE LIVROS DIDÁTICOS

Apesar das diversas metodologias que podem ser exploradas em sala de aula, o livro didático continua sendo o recurso mais utilizado. Assim, serve como um guia de conteúdos e temáticas, tanto para alunos quanto para professores. Dada a sua importância, Barreto et al. (2016), Pinto et al. (2017) e Targino e Baldinato (2016) se propuseram a analisar a forma como a tabela periódica é abordada nos livros didáticos.

Targino e Baldinato (2016) analisaram cinco livros de Química aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), em 2012. A análise foi feita a partir dos seguintes critérios: abordagem das ideias/descobertas, evolução da Ciência, quem faz Ciência, e contextos aos quais a informação histórica está relacionada. Com relação às ideias científicas, os autores apontam que falta uma discussão sobre o entendimento de elemento que se tinha à época, bem como de outros conceitos importantes para a

construção da tabela periódica.

Sobre a evolução da Ciência, são apresentadas as propostas que guardam relações diretas com a tabela periódica atual, transmitindo uma ideia linear e positivista da Ciência. Os autores também apontam que não é feita uma contextualização social, política, tecnológica do período, se restringindo a aspectos superficiais do contexto científico. Os cientistas são apresentados somente pelo nome, nacionalidade e datas de nascimento e morte, não mencionando outras atividades realizadas por eles, como a docência e a participação em congressos. Com relação à Mendeleev, segundo os autores, ele é tratado como o “pai” da tabela periódica, e ocorre um reforço às ideias equivocadas sobre a forma como ele construiu sua tabela (TARGINO; BALDINATO, 2016).

Barreto et al. (2016) analisaram como a História da tabela periódica é abordada em quatro dos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015. Os autores destacam que embora os livros didáticos enfatizem a contribuição de Mendeleev, a tabela foi o resultado de esforços de vários cientistas, o que não é discutido de forma satisfatória. Com relação à abordagem feita sobre os cientistas, os livros analisados apresentam somente alguns deles e de forma limitada, citando os nomes e datas de nascimento e morte. Os autores não observaram menções sobre características pessoais dos cientistas e nem sobre o contexto social e histórico em que ele está inserido. Assim, concluem que essa abordagem contribui para uma visão de cientista como um sujeito que só estuda e não possui uma vida social. Além disso, por não situar historicamente os cientistas, transmite-se uma ideia de que a tabela periódica surgiu de forma independente dos conhecimentos da época.

Com relação à forma como as descobertas científicas são abordadas nos livros didáticos, Barreto et al. (2016) apontam que na maioria das vezes é feita somente uma menção às descobertas, sem uma explicação sobre as mesmas ou sobre a forma como os cientistas chegaram àquela construção. De forma geral, os autores concluem que os livros contribuem para uma visão linear de construção da Ciência, ou seja, um processo que sempre evolui. Além disso, não mostra a Ciência como um esforço coletivo e influenciado pelo contexto social, econômico, político, entre outros.

Pinto et al. (2017) também fizeram uma análise de um livro didático de Química do 1º ano do Ensino Médio, aprovado no PNLD 2015. Os autores focaram no texto introdutório do capítulo sobre a tabela periódica, o qual é apresentado dentro de um box, separado do restante do texto. O excerto analisado tem características do gênero divulgação científica e foi originalmente publicado em uma revista científica. Por ser um

texto de abertura do capítulo, tem a função de apresentar o assunto e motivar os estudantes, mas pouco dialoga com o conteúdo e com o cotidiano. Entretanto, os autores compreendem que esta é uma tentativa de introduzir textos com potencial interdisciplinar, que contribui para uma leitura que difere do que comumente é feito em sala de aula.

Com base nos artigos levantados, destacamos que embora os livros didáticos apresentem uma abordagem histórica da tabela periódica, muitas vezes, esta é feita de forma limitada e, até mesmo, problemática. Assim, reforça visões equivocadas sobre a história da tabela periódica e sobre a natureza da Ciência, não fornecendo um auxílio satisfatório aos professores. Essa abordagem se reflete em sala de aula, visto que o livro didático é o principal material utilizado pelos professores.

#### 2.2.4 ASPECTOS HISTÓRICOS

Apesar da abordagem limitada dos livros didáticos, a tabela periódica, assim como a Ciência de forma geral, é uma construção humana e, portanto, sofre modificações ao longo do tempo. Nesse sentido, três trabalhos trouxeram uma discussão sobre episódios históricos da elaboração da tabela periódica: Rocha-Filho e Chagas (2011), Freitas et al. (2014), Labarca, Quintanilla-Gatica e Izquierdo-Aymerich (2022).

Rocha-Filho e Chagas (2011) discutem a elaboração dos conceitos de peso atômico, a partir da teoria atômica difundida no início do século XIX. Segundo os autores, as listas de pesos dos elementos eram constantemente atualizadas, sendo esses valores calculados a partir de métodos químicos e tendo como referência o peso do elemento oxigênio. Os autores relatam como o conhecimento da existência de elementos isótopos influenciou a determinação dos pesos atômicos, bem como o desenvolvimento de novas técnicas. Por fim, destacam atualizações aprovadas pela IUPAC para os valores de massa atômica relativa padrão de alguns elementos, os quais foram atualizados na tabela periódica.

O trabalho de Labarca, Quintanilla-Gatica e Izquierdo-Aymerich (2022) apresenta uma discussão vigente entre cientistas atualmente: a posição dos elementos lantânio, actínio, lutécio e laurêncio. Na tabela periódica tradicional, os elementos escândio, ítrio, lantânio e actínio ocupam a família 3. Entretanto, existem propostas que trazem os elementos lutécio e laurêncio em substituição ao lantânio e actínio. Por este motivo, em 2015 a IUPAC criou um comitê de estudos para discutir essa questão. Os autores apresentam argumentos defendidos por diversos cientistas em torno da troca ou não da

posição dos elementos, os quais giram em torno da dificuldade em se decidir somente baseado na distribuição eletrônica e na análise de propriedades físicas e químicas, como raio atômico, energia de ionização, ponto de ebulição, eletronegatividade, entre outros. As discussões tecidas pelos autores abordam um problema científico atual, que nos mostra que a tabela periódica continua em reconfiguração, apontando para o caráter provisório da Ciência, ou seja, em constante revisão.

O trabalho de Rocha-Filho e Chagas (2011) discute episódios em que o conhecimento científico se modificou, enquanto Labarca, Quintanilla-Gatica e Izquierdo-Aymerich (2022) trazem uma disputa atual na Ciência. Importante destacar esses aspectos pois, muitas vezes, tem-se a ideia de que a Ciência não se modifica, que os conhecimentos que temos hoje sempre existiram dessa forma e assim permanecerão. Assim, esses episódios nos ajudam a entender a Ciência como um processo, no qual os conhecimentos não são definitivos.

Ainda dentro de uma abordagem histórica, Freitas et al. (2014) fizeram uma análise do uso das analogias na História da Ciência, a partir de exemplos da História da Filosofia Grega, a História da Física e a História da Química. Tratando sobre a Química, os autores analisaram episódios da construção dos modelos atômicos, a descoberta da estrutura da molécula do benzeno, a evolução da tabela periódica, entre outros.

Com relação às analogias presentes nas propostas de organização dos elementos, Freitas et al. (2014) destacam o parafuso telúrico de Chancourtois e as oitavas de Newlands. Como já abordado, Chancourtois organizou os elementos em uma estrutura denominada parafuso telúrico, pois os elementos estavam organizados em uma espiral descendente, semelhante a um parafuso. Por ter uma educação musical, John Newlands comparou a periodicidade dos elementos às oitavas musicais, o que a princípio foi ridicularizado pela comunidade científica. Para os autores, as analogias auxiliam na construção das teorias e contribuem para a popularização da Ciência na medida em que utiliza objetos do cotidiano para apresentar as ideias científicas. Entretanto, as analogias podem levar a erros conceituais, sendo necessário cuidado em sua utilização em sala de aula.

#### 2.2.5 DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A divulgação científica permite que a sociedade em geral tome conhecimento de assuntos relacionados à Ciência e tecnologia, a partir do acesso a diferentes meios: textos,

palestras, exposições, documentários, entre outros. Nesse contexto, visando destacar a importância da produção de materiais e eventos de divulgação científica, e motivados pelo aniversário de 150 anos de publicação da tabela periódica de Mendeleev, Lorenzetti, Damasio e Raicik (2020) propuseram uma série de atividades de divulgação de aspectos históricos de sua construção. O projeto envolveu a gravação e publicação de um vídeo, a construção e exibição de uma tabela periódica associada a uma palestra, a exibição de experimentos sobre os elementos químicos, entre outros. Os autores destacam as potencialidades do tema tabela periódica para discutir aspectos históricos e características do conhecimento científico, desfazendo mitos e visões equivocadas.

Uma atividade de divulgação da tabela periódica também foi apresentada por César, Reis e Aliane (2015), que desenvolveram a exposição Tabela Periódica Interativa, no Centro de Ciências da Universidade Federal de Juiz de Fora - MG. A exposição busca associar recursos audiovisuais, computacionais e experimentais sobre as propriedades dos elementos químicos. Para cada um, tem-se uma caixa fechada, com a frente de vidro, na qual são colocadas amostras dos elementos em sua forma elementar ou objetos onde eles são utilizados. Além da tabela interativa, a visita à exposição conta com a apresentação de vídeos sobre os elementos químicos, interação com uma tabela periódica virtual e a realização de experimentos. Para os autores, a exposição auxilia na abordagem de conceitos e temas químicos de forma lúdica e cooperativa entre diferentes espaços de ensino.

Uma tabela periódica interativa foi uma das atividades desenvolvidas por Leonardo Júnior et al. (2021) como parte da exposição “Um quimiscritor no museu: ciência, literatura e direitos humanos com Primo Levi”. A exposição aborda a vida e obra do químico e escritor italiano Primo Levi, que em 1944, durante a Segunda Guerra Mundial, foi levado como prisioneiro para o campo de concentração de Auschwitz. A exposição lança mão de excertos de obras de Primo Levi, recursos multimídias de imagem e som, entre outros. Os autores destacam que divulgar a Ciência vai além de traduzir o discurso científico para o público leigo, mas passa por discutir sua relação com a sociedade, como potencializado pela obra de Primo Levi.

A divulgação científica também pode ser praticada por meio de livros e outros textos escritos. Nesse contexto, Targino e Giordan (2015) apresentaram cinco TLDC que podem ser utilizados no Ensino Médio como ferramentas culturais para o ensino sobre lei periódica, indicando suas potencialidades e limitações. Os livros escolhidos foram: “A Tabela Periódica”, de Primo Levi; “Tio Tungstênio: Memórias de uma Infância

Química”, de Oliver Sacks; “O reino periódico: uma jornada à terra dos elementos químicos”, de Peter Atkins; “O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da Química”, de Paul Strathern; e “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, de Sam Kean.

Segundo Targino e Giordan (2015), o TLDC auxilia no desenvolvimento da leitura e escrita, e possibilita a integração entre cultura e Ciência. Entretanto, a simplificação da linguagem pode levar a equívocos conceituais, o que requer atenção do professor para a sua inserção em sala de aula, demandando um planejamento cuidadoso da atividade. De forma geral, os autores apontam que os livros analisados possibilitam abordagens interdisciplinares, relacionam a Ciência ao contexto social, econômico, etc., embora alguns autores não narrem eventos históricos com tanta precisão, sendo necessária uma análise criteriosa do professor. Com relação à utilização em sala de aula, Targino e Giordan (2015) ressaltam a necessidade de mais estudos que discutam a sua inserção e contribuição para o ensino de conceitos químicos.

O livro de divulgação científica “O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da Química”, de Paul Strathern também foi objeto de estudo de Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022), que buscaram em três capítulos da obra exemplos e contraexemplos de aspectos relativos à natureza da Ciência. Assim, fazem um resgate histórico da tabela periódica, a partir da narrativa do livro e discutem as características da Ciência que emergem. Os autores apontam que se faz necessária uma leitura crítica do texto, especialmente na simplificação de determinados episódios históricos, na abordagem de Mendeleev como um super-humano e no uso de termos apelativos, como brilhante, pioneiro, entre outros.

Por outro lado, na maior parte da obra, o autor discute outras propostas de organização dos elementos, apresentando uma narrativa não linear de Ciência. Também emergem exemplos históricos que podem potencializar as discussões sobre a coletividade da Ciência, as disputas teóricas, as subjetividades e outras características do empreendimento científico. Assim, destacam que embora seja necessário um cuidado epistemológico, o livro apresenta grande potencial para a discussão sobre a natureza da Ciência associada a uma abordagem histórica, embora trabalhos que discutem essa interlocução ainda sejam incipientes (LORENZETTI; RAICIK; DAMASIO, 2022).

### 2.3 CONTRIBUIÇÕES DOS ESTUDOS SOBRE A TABELA PERIÓDICA

A partir das publicações que abordam a tabela periódica levantadas nos periódicos

e anais de eventos da área de ensino de Química, observamos que o foco das propostas está no desenvolvimento de atividades voltadas para o ensino e aprendizagem de conteúdos referentes à tabela. Dentre os conteúdos, destacam-se a identificação dos elementos por meio do nome, número atômico e número de massa, a localização na tabela e sua relação com a distribuição eletrônica e as propriedades periódicas. Para tanto, os autores lançam mão de metodologias diversificadas: jogos, softwares, vídeos, montagem de tabelas periódicas, leitura de textos de divulgação científica, entre outros.

Como discutimos no capítulo um desta tese, esses conteúdos são fundamentais para a Química, pois estão relacionados à definição de elemento químico, à compreensão da estrutura interna dos átomos e a sua influência nas propriedades dos elementos, conceitos fundamentais para a compreensão da matéria. Além disso, servem de base para o entendimento acerca das ligações químicas que, por sua vez, determinam as características das substâncias presentes em nosso cotidiano. Entretanto, Lima, Silva e Matos (2010) identificaram em sua pesquisa que os estudantes apresentam dificuldades em estabelecer conexões entre esses conhecimentos, pautando a aprendizagem da tabela periódica na memorização de informações.

Tão importante quanto tecer essas conclusões é compreender como esses conhecimentos foram elaborados, o que foi em parte discutido nos trabalhos de pesquisa sobre a história da tabela periódica. Assim, compreender como a construção do conceito de átomo e de peso atômico influenciou na organização dos elementos, permite ao estudante perceber que a Ciência não se desenvolve de forma linear (ROCHA-FILHO; CHAGAS, 2011). Discutir as diferentes propostas para a tabela periódica mostra como a Ciência é uma construção social, que não é feita por apenas um cientista e que está em constante atualização (LABARCA; QUINTANILLA-GATICA; IZQUIERDO-AYMERICH, 2022).

Todavia, nos trabalhos analisados nesta revisão de literatura, foram identificadas lacunas na forma como a história da tabela periódica é discutida em livros didáticos, com uma supervalorização de Mendeleev, em detrimento às contribuições de outros cientistas, sendo apresentadas somente propostas que guardam semelhança com a tabela atual. Não ocorre uma contextualização do período histórico, nem das discussões científicas ocorridas à época, como o conceito de elemento químico. Assim, transmite-se uma ideia de Ciência linear, individual e descolada do contexto da época (BARRETO et al., 2016; TARGINO; BALDINATO, 2016).

Concepções equivocadas sobre a história da tabela periódica também foram

identificadas em estudantes do Ensino Médio (VIANNA; CICUTO; PAZINATO, 2019), e em professores da Educação Básica (LIMA; PAULA; MESSEDER, 2016; SILVA; NASCIMENTO, 2020). Talvez por este motivo, atividades de ensino que abordam a história da tabela periódica foram objeto de somente cinco publicações, as quais potencializam não só a construção de conceitos, mas, também, uma compreensão das características da Ciência.

Destacamos os trabalhos que tiveram como foco a abordagem da tabela periódica a partir de atividades de leitura de textos de divulgação científica. Assim como Targino e Giordan (2016), pensamos que trabalhar com a DC permite ao estudante construir outros significados para a tabela periódica e os elementos químicos, bem como relacioná-los ao seu dia a dia, contribuindo para dar mais sentido ao conteúdo. Além disso, tais atividades podem possibilitar ao estudante, além do desenvolvimento do hábito da leitura, trabalhar a construção da autoria, deslocando-o da simples transcrição de enunciados, como observado por Francisco e Francisco Junior (2013).

Apesar das atividades de ensino a partir da DC não terem abordado aspectos históricos da tabela periódica, a pesquisa realizada por Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022) discute essa possibilidade. Os autores discorrem sobre aspectos históricos da tabela periódica presentes em uma obra de DC e, a partir desses, apontam características da Ciência que podem ser exemplificadas e contraexemplificadas na obra, abordagem que ainda é pouco explorada. O trabalho aponta que se faz necessária uma análise criteriosa das obras e, como destacado por Targino e Giordan (2015), mais estudos sobre a inserção dos textos de DC em sala de aula.

Desta forma, notamos por meio da revisão de literatura as dificuldades que tanto professores quanto estudantes apresentam ao trabalhar a tabela periódica. Podemos citar como obstáculos à prática dos professores falhas na formação inicial e continuada, falta de materiais que auxiliem na elaboração das aulas, limitações do livro didático, entre outros. Por outro lado, os trabalhos levantados apontam as potencialidades de uma abordagem histórica do conteúdo e da inserção de outros gêneros textuais em atividades em sala de aula.

A partir do exposto, retomamos a questão de pesquisa proposta nesta tese: Como a leitura de um texto de divulgação científica e um original de cientista sobre a tabela periódica pode contribuir para a produção de efeitos de sentidos sobre esse artefato? Com relação aos textos de divulgação científica, os artigos encontrados debatem possibilidades para a discussão de características dos elementos a partir destas obras e potencialidades

para a abordagem de aspectos históricos e de características da Ciência. Ainda assim, não encontramos atividades de ensino que desenvolvem essa prática, e foi apontada uma lacuna nos estudos que relacionam a DC e a natureza da Ciência (LORENZETTI; RAICIK; DAMASIO, 2022), bem como na inserção da DC em sala de aula (TARGINO; GIORDAN, 2015). Também não encontramos atividades de ensino que debatem a tabela periódica a partir de textos originais de cientistas.

Assim, emergem da revisão de literatura potencialidades e lacunas que buscaremos preencher neste trabalho. No capítulo seguinte, trazemos noções teóricas que nos fundamentam e ajudam a compreender a divulgação científica e os originais de cientistas enquanto tipos discursivos com características próprias.

### 3 APOIO TEÓRICO-METODOLÓGICO

Trazemos neste capítulo algumas noções da Análise de Discurso (AD) de linha francesa, na vertente que teve como um de seus precursores Michel Pêcheux, a qual constitui o referencial teórico e metodológico da pesquisa. Essas noções nos permitem compreender a linguagem enquanto interação entre sujeitos, e perceber que não existe neutralidade nos discursos. Em seguida, trazemos uma discussão sobre como compreendemos a leitura a partir do referencial teórico da AD de linha francesa. Pensamos a leitura como possibilidade de ser trabalhada no ensino de ciências, discussão que se encaminha nesta tese para a utilização de diferentes tipos textuais no ensino de Química. Dentre esses tipos textuais, destacamos os textos originais de cientistas e de divulgação científica.

#### 3.1 ALGUNS PRINCÍPIOS E NOÇÕES DA ANÁLISE DE DISCURSO

Como referencial teórico-metodológico, nos baseamos na vertente da Análise de Discurso que teve início na França, na década de 1960, a partir da relação entre a Linguística, o Marxismo e a Psicanálise, e tem em Michel Pêcheux um de seus principais articuladores. Nos baseamos principalmente nos trabalhos de Eni Orlandi, realizados no Brasil a partir da década de 1980, e que partem da perspectiva pecheutiana da AD (ORLANDI, 2012a).

Uma primeira reflexão que a AD traz é sobre o que é linguagem. Na sala de aula, temos a ilusão de que o professor fala, o estudante escuta e compreende, pois todo o conteúdo foi transmitido de forma clara. Ou seja, pensamos a linguagem como um instrumento de transmissão de informação, em que o sentido está fixado às palavras, bastando atravessar o texto para encontrá-lo. Entretanto, observamos que os sujeitos apresentam diferentes compreensões a partir de uma mesma frase.

Por meio da AD, compreendemos a linguagem como não transparente, ou seja, não existem sentidos prontos por trás do texto. Orlandi (2012b, p. 21) considera “a linguagem como interação”, construída na relação do homem com o social, o natural, o histórico. Sob esse ponto de vista, os sentidos são construídos a partir das suas condições de produção: sujeitos, situação, contexto histórico-social e ideologia.

Segundo a sistematização proposta por Magalhães e Kogawa (2019), a AD possui dois sistemas fundamentais: o primeiro, formado pelos conceitos de discurso, sujeito e

história, e que constitui sua base linguístico-histórico-filosófica; o outro, um conjunto de categorias operacionais derivadas de sua base, dentre as quais iremos abordar os conceitos de interdiscurso, formação discursiva, condições de produção e metáfora. A base da AD repousa, assim, nos conceitos de discurso, sujeito e história, e é no encontro deles que vemos o discurso em funcionamento.

O primeiro conceito base que iremos abordar é o de discurso, objeto da AD e entendido como “palavra em movimento, prática de linguagem” (ORLANDI, 2012a, p. 15). Para abordar o discurso, Orlandi o contrapõe ao esquema linear da comunicação, segundo o qual um emissor transmite uma mensagem, utilizando-se de um código e referindo-se a um objeto da realidade; essa mensagem é recebida pelo receptor, que a decodifica, estabelecendo a comunicação. Para a autora, não ocorre essa linearidade de processos, nem a separação total entre emissor e receptor, ou, ainda, uma separação entre codificação e decodificação da mensagem. Ocorre, sim, uma simultaneidade nos processos de significação e, no lugar da mensagem, a autora propõe pensar o discurso, definido como “efeito de sentidos entre interlocutores” (ORLANDI, 2012a, p. 21). Desta forma, o discurso não é compreendido apenas como transmissão de informação, pois envolve processos de constituição dos sujeitos e de produção de sentidos.

Assim, o discurso é compreendido como

[...] linguagem em interação, ou seja, aquele em que se considera a linguagem em relação às suas condições de produção, ou, dito de outra forma, é aquele em que se considera que a relação estabelecida pelos interlocutores, assim como o contexto, são constitutivos da significação do que se diz (ORLANDI, 1987, p. 157).

Desta forma, as posições que os sujeitos ocupam dentro do discurso e as condições de sua produção contribuem para a constituição dos sentidos. Logo, os sentidos não são fixos, e o discurso traz em si a noção de movimento dos sentidos e fluidez da linguagem. Segundo Magalhães e Kogawa (2019) é por meio do discurso que emergem tanto a posição sujeito quanto a historicidade.

Com relação ao sujeito, não o compreendemos como alguém responsável pelo dizer, mas como uma posição ideológica marcada pela história e que emerge do discurso. Assim, a constituição dos sujeitos e dos sentidos passa pela ideologia. Orlandi traz uma noção discursiva de ideologia, que difere da ideia de visão de mundo, sendo “vista como o imaginário que medeia a relação do sujeito com suas condições de existência” (ORLANDI, 1994, p. 56). Assim, a relação entre a linguagem e o mundo se dá por intermédio da ideologia. Segundo a autora, a ideologia organiza o processo de

significação, permitindo relacionar sujeito, língua e história, construindo sentidos. É o que nos dá a ideia de que o sentido está pronto e de que a linguagem é transparente, camuflando o próprio processo de construção de sentidos a partir de determinadas condições de produções (ORLANDI, 2012a).

A ideologia é, também, o que permite aos indivíduos tornarem-se sujeitos em sua forma social, indo além do biológico e psicológico. A interpelação do indivíduo em sujeito se dá através das formações ideológicas e do interdiscurso, ou seja, sua fala reflete valores e posições, bem como se relaciona com outros dizeres. Disso decorre que, embora o sujeito tenha a ilusão de ser a origem de seu dizer, sua fala relaciona-se com o já-dito e retoma discursos realizados em outros momentos, ainda que de forma inconsciente (ORLANDI, 2010).

Sujeitos e sentidos são também constituídos pelo esquecimento. O primeiro esquecimento ocorre de forma inconsciente, e dá ao sujeito a ilusão de ser origem do seu dizer. Entretanto, retomamos outros discursos que são apagados por ação da ideologia. O segundo tipo de esquecimento ocorre na formulação dos enunciados: dizemos de uma forma e não de outra, escolhemos determinadas palavras e “esquecemos” outras, o que produz sentidos diferentes (ORLANDI, 2012a). Ao escolher usar o termo ‘defensivo agrícola’, um jornal produz efeitos de sentido diferentes do que se utilizasse a palavra ‘agrotóxico’, por exemplo. Esse esquecimento traz a ilusão de que há uma relação direta entre o que se diz e o objeto, quando, na realidade, o sentido sempre pode ser outro.

Cabe destacar que quando falamos em sujeitos, não estamos nos referindo ao sujeito físico, mas à posição discursiva que esse sujeito ocupa. Assim, um sujeito pode falar da posição de mãe, ou da posição de professor, ou ainda da posição de estudante, o que confere diferentes sentidos ao seu dizer. Como essas posições são hierarquizadas, as relações estabelecidas entre sujeitos são relações de força, que conferem poder e autoridade às palavras. Assim, a posição sujeito, ou seja, o local de onde o sujeito fala, constitui o seu dizer.

A projeção do sujeito no discurso decorre do que chamamos representação (ALMEIDA; PAGLIARINI, 2018), e permite ao sujeito construir uma imagem sobre si mesmo, sobre seu interlocutor e sobre o objeto do discurso, imagens que são criadas a partir de um contexto histórico-social e da memória. Além da imagem que o sujeito faz de seu interlocutor, ele se põe em seu lugar e ouve suas próprias palavras. A partir disso, ele regula seu discurso de forma a alcançar determinado efeito sobre seu interlocutor, mecanismo denominado antecipação, e que guia a argumentação (ORLANDI, 2012a).

Outra noção fundamental apontada por Magalhães e Kogawa (2019) é a de história. Para Orlandi (1994, p. 53) “sem história não há sentido, ou seja, é a inscrição da história na língua que faz com que ela signifique.” Assim, o sentido não é fixado à palavra e tampouco é qualquer um, mas deriva da materialização da história no discurso. A noção de história está ligada à de condições de produção, que compreendem os sujeitos e a situação da enunciação: o contexto imediato e, de forma ampla, o contexto histórico-social e ideológico. Orlandi (2010) destaca que os contextos restrito e ampliado funcionam de forma conjunta no discurso, pois o que acontece no contexto local está intimamente relacionado com o contexto geral.

Ainda fazem parte das condições de produção a memória discursiva ou interdiscurso,

definido como aquilo que fala antes, em outro lugar, independentemente. Ou seja, é o que chamamos memória discursiva: o saber discursivo que torna possível todo dizer e que retorna sob a forma do pré-construído, o já-dito que está na base do dizível, sustentando cada tomada de palavra (ORLANDI, 2012a, p. 31).

Assim, todo discurso retoma outros dizeres anteriores, ainda que estes tenham sido formulados e esquecidos. Mesmo que não seja possível resgatar todos os momentos em que uma mesma palavra foi enunciada, nem o sentido atribuído a ela em cada um deles, estes sentidos estão ligados a ela. Desta forma, os sentidos são constituídos pelo já-dito, mobilizado na memória discursiva, e que é retomado na formulação de um enunciado, o que denominamos interdiscurso (ORLANDI, 2012a).

Se ao dizer sempre retomamos o já-dito, por outro lado sempre mexemos nos sentidos por nos filiarmos a formações discursivas diferentes. E é nesse movimento entre o mesmo e o diferente que se dá o funcionamento da linguagem, a partir de dois processos fundamentais: o processo parafrástico e o processo polissêmico. A paráfrase é entendida como a repetição de um dizer já sedimentado, produzindo um mesmo sentido, enquanto a polissemia gera um deslocamento do mesmo e a construção de novos sentidos. Assim, a paráfrase é o retorno à memória, o que sustenta o dizer, enquanto a polissemia garante a multiplicidade dos sentidos e a inserção do sujeito em sua construção (ORLANDI, 2012a).

Outra noção básica na AD é a de formação discursiva. Para Orlandi, os sentidos também são determinados pelas posições ideológicas dentro do contexto sócio-histórico em que as palavras são produzidas. A projeção da formação ideológica no discurso corresponde à formação discursiva, que “se define como aquilo que numa formação

ideológica dada – ou seja, a partir de uma posição dada em uma conjuntura sócio-histórica dada – determina o que pode e deve ser dito” (ORLANDI, 2012a, p. 43).

Portanto, é por meio da formação discursiva que compreendemos os diferentes sentidos que podem estar associados a uma mesma palavra ou expressão, cada qual dentro de uma determinada formação discursiva. A palavra “base”, por exemplo, pode produzir diferentes sentidos quando inscrita na formação discursiva da Química ou da Arquitetura. Na Química, refere-se a uma classe de compostos inorgânicos, enquanto na Arquitetura remete aos fundamentos de uma construção. Isso não significa que há um sentido certo e outro errado, mas o sentido está associado à formação discursiva em que a palavra se inscreve. Embora todos os sentidos sejam possíveis, há o predomínio de um sobre o outro, dada uma condição de produção determinada.

Assim, quando falamos em tabela periódica logo vem à mente a imagem apresentada no início deste trabalho (Figura 1), que nos acompanha nos livros didáticos e nos laboratórios de Química. Uma expressão já estabilizada e que, aparentemente, apresenta um significado intrínseco. Entretanto, se pensarmos as palavras “tabela” e “periódica” separadamente notamos que vários significados são construídos a partir das diferentes formações discursivas das quais emerge, e que podem possibilitar a realização de diferentes leituras.

Segundo o Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, tabela pode ser um “suporte onde se faz um registro de informações, organizado em linhas e colunas (ex.: tabela de preços)”; “registro de cálculos e resultados (ex.: tabela de conversão)”; “suporte vertical retangular da cesta de basquetebol”; “jogada em que há uma troca rápida e curta de bola entre jogadores”; entre outros (PRIBERAM, 2021a). De forma semelhante, a palavra periódico é definida como algo “que sucede ou aparece com intervalos regulares”; “a fração decimal em que todos os algarismos ou parte deles se reproduzem sempre da mesma ordem indefinidamente”; “impresso, folha ou gazeta que se publica em dias certos”; entre outros (PRIBERAM, 2021b). Destas definições, a que mais se assemelha ao que encontramos na tabela periódica é a primeira. Assim, o fato de sabermos o significado das palavras “tabela” e “periódica” não nos garante uma compreensão sobre o artefato tabela periódica, para o qual diferentes leituras são possíveis.

Cabe destacar que um texto não é fechado em uma única formação discursiva. Como o sujeito transita entre diferentes formações ideológicas (científica, cotidiana, religiosa, etc.), ele ocupa diferentes posições sujeito no texto, cada uma derivada de uma formação discursiva. Assim, a constituição do discurso é heterogênea, pois transita entre

essas diferentes formações discursivas (ORLANDI, 2012b).

Como abordado até o momento, as noções de discurso, sujeito e história são fundamentais para a compreensão de como um enunciado produz sentidos. Podemos dizer que as condições em que o discurso é produzido, o contexto histórico-social, a ideologia materializada no discurso, a posição sujeito, as relações de força, não são simples acessórios do discurso, mas o constituem de forma orgânica.

Outra noção que trazemos para este texto a partir do referencial teórico da AD é a de metáfora. Retomando os trabalhos de Lakoff e Johnson (1980), Flôr (2009a) aborda a importância das metáforas na comunicação, as quais estão presentes tanto em atividades cotidianas quanto em contextos da Ciência. Para os autores, as metáforas são utilizadas para auxiliar na compreensão de um objeto discursivo, a partir da comparação de um termo com outro.

Orlandi (2012a) define metáfora como transferência, que estabelece a forma como as palavras significam. Nesse processo, o sentido não está na literalidade das palavras, mas decorre do confronto entre os termos e da transferência de sentidos. Desta forma, “o sentido é sempre uma palavra, uma expressão ou uma proposição por uma outra palavra, uma outra expressão ou proposição” (PÊCHEUX, 2014, p. 263). Assim, a metáfora leva o sujeito a construir novos sentidos para o objeto do discurso a partir dessa substituição das palavras, o que ocorre por meio do acionamento da memória e das formações discursivas em que os discursos se inscrevem. Como os sentidos não estão presos às palavras, e ocorrem sempre em relação a outro, os autores apontam que o sentido só existe a partir da metáfora.

Partindo dos modos de funcionamento discursivo, Orlandi (1987) propõe uma tipologia de discursos, nomeando-os como autoritário, lúdico e polêmico. Como critérios para a classificação, a autora define os mecanismos de paráfrase e polissemia e a relação entre os sujeitos. O discurso autoritário tende à paráfrase, ou seja, à permanência do sentido único. O locutor desconsidera seu interlocutor, estabelecendo uma relação assimétrica com ele, de cima para baixo. No discurso polêmico há uma disputa entre a paráfrase e a polissemia. O locutor leva em consideração seu interlocutor, estabelecendo uma tensão entre eles pela disputa dos sentidos. O discurso lúdico é definido pela polissemia aberta, múltiplos sentidos são possíveis, e os locutores se manifestam sem imposições (ORLANDI, 1987).

Orlandi (2012a) ressalta que não há um discurso puramente lúdico, polêmico ou autoritário, e sim discursos que tendem a um tipo ou outro, e, em certas condições de

produção haverá dominância de um sentido sobre o outro. Assim, as tipologias dão conta da relação entre a linguagem e o contexto, tendo seus sentidos produzidos a partir das condições de produção da enunciação e o contexto sócio-histórico. Outro ponto a se considerar é que os tipos não trazem um juízo de valor, como se o discurso autoritário se referisse a um sujeito de caráter autoritário, ou o lúdico a uma brincadeira. Os tipos indicam o modo como os discursos funcionam.

Tomando o discurso da sala de aula, temos que, por vezes, ele tende a um discurso autoritário, no qual fala uma voz detentora do conhecimento. Nos exames, é esperado dos estudantes a paráfrase, ou seja, a repetição do já-dito, podendo ou não fazer sentido para ele. Sobre o discurso pedagógico, para Orlandi (1987) ele aparece como algo que se deve saber, necessário para aplicação em avaliações, e que não considera o interesse e a utilidade para o próprio estudante.

Indo na direção oposta, está a autoria, a qual não está ligada somente ao respeito às regras gramaticais, à coerência e coesão. Mas, “[...] para que o sujeito se coloque como autor, ele tem de estabelecer uma relação com a exterioridade, ao mesmo tempo em que ele se remete à sua própria interioridade: ele constrói assim sua identidade como autor.” (ORLANDI, 2012b, p. 105). Assim, o autor é capaz de relacionar seu discurso ao contexto e à sua memória, de forma que eles se inscrevam em seu dizer.

A função autor é abordada por Orlandi (1998) a partir das noções de repetição empírica, formal e histórica. A repetição empírica é aquela em que o sujeito copia o texto original, repetindo aquilo que leu ou ouviu, enquanto na repetição formal, o texto é reescrito com outras palavras. Nestes dois casos, o autor não utiliza outros enunciados, não retoma o já-dito, não opera no nível do interdiscurso. Ao contrário, na repetição histórica o autor faz uso da memória e retoma discursos anteriores, desloca os sentidos já estabelecidos, interpreta e formula outros sentidos, exercendo a função autor e produzindo conhecimento. Importante destacar que a repetição se faz necessária, pois sem ela o enunciado não faria sentido. Assim, o autor é aquele que formula em meio ao repetível, que inscreve o seu dizer no interdiscurso.

Pensamos que a educação deve romper com o discurso autoritário, proporcionando aos estudantes deslocar sentidos, se apropriar dos discursos e torná-los significativos em seu cotidiano. O deslocamento de sentido é entendido como possibilidade de construção pelo aluno, já que ele sai da posição de simples ouvinte e exerce sua capacidade de discordância e argumentação, se constituindo como autor.

As noções da AD abordadas nos auxiliam a compreender a linguagem e a leitura,

bem como os sentidos que emergem do *corpus* de análise, e constituem o arcabouço teórico que sustenta o dispositivo analítico. A seguir, trazemos uma discussão sobre como compreendemos a leitura a partir do referencial teórico da AD francesa.

### 3.2 PENSANDO A LEITURA A PARTIR DA ANÁLISE DE DISCURSO

Iniciamos esta seção questionando: por que pensar a leitura no ensino de ciências? E em aulas de Química, qual a sua função? Por vezes, podemos ter a impressão de que um texto sobre tabela periódica, ou sobre modelos atômicos ou qualquer outro conteúdo presente em um livro didático de Química, não deixa dúvidas quanto à sua leitura. Os conceitos estão bem delimitados, tudo escrito em uma linguagem clara e de forma gramaticalmente correta, ou seja, é o que podemos chamar de um texto “bem escrito”. É explícito quanto à informação que pretende transmitir; resta-nos ler e apreender os conceitos. Nesse contexto, a leitura é entendida como decodificação de palavras, o que implica em um sentido único para o texto, o qual deve ser apreendido pelo leitor.

Entretanto, a leitura de um texto não é um processo simples. Em sala de aula, e mesmo em nosso cotidiano, observamos que pessoas diferentes constroem sentidos diversos a partir da leitura de um mesmo texto. Isso decorre do fato de que a leitura não é transparente, os sentidos não estão prontos por trás do texto. Para Orlandi (2012b), a leitura é o momento de produção de significados, quando o leitor atribui sentidos ao texto a partir de suas condições de produção. Assim, o que torna um texto legível não é uma questão de características do próprio texto, mas da relação que é estabelecida entre o leitor e o texto. Nesse contexto, sujeitos, ideologia, tipos de discurso, processos de paráfrase e polissemia são alguns dos componentes das condições de produção da leitura. Além deles, a autora traz, ainda, as histórias de leitura do texto e do leitor.

Sobre a relação entre os sujeitos, reforçamos que estas são, primeiramente, relações de força, isto é, o fato do texto ser de autoria de X ou Y, produz diferentes leituras devido à posição discursiva do autor e do leitor. Assim, um artigo científico e a letra de uma música serão lidos de formas diferentes, dadas as posições ocupadas pelos sujeitos. Para Orlandi (2012b), a relação também se dá entre o leitor imaginado pelo autor e a quem ele se dirige, e o leitor real. O autor destina seu texto a um leitor imaginário, construído dentro de uma formação discursiva dada. Ao ler, os leitores real e imaginário se relacionam, em um grau maior ou menor de afinidade. Nesse processo, os sentidos são construídos.

Como os sentidos derivam de suas condições de produção, para Orlandi (2012b) o autor não tem controle sobre as formas como seu texto irá significar. De forma semelhante, o leitor não tem acesso aos múltiplos sentidos em jogo. Disso decorre que um texto pode significar de diferentes maneiras. Portanto, a leitura não é dada, os sentidos não estão prontos; antes, a leitura é produzida a partir de suas condições de produção. Pensando esse processo em sala de aula, temos que professores e estudantes podem atribuir diferentes sentidos à leitura, o que demanda uma maior reflexão sobre estas atividades.

Outro aspecto que cabe destacar sobre a produção da leitura é a incompletude do texto, que se relaciona com o implícito e a intertextualidade. O implícito se refere àquilo que não está dito, mas que também constitui o texto, ou seja, aquilo que sustenta o dizer ou que pode ser dito de outras formas, produzindo outros sentidos. A intertextualidade se refere à relação de um texto com outros textos, que contribuem para a constituição dos sentidos. Assim, ao ler, os sujeitos constroem sentidos a partir do texto e do que não está nele, mas o constitui (ORLANDI, 2012b).

A noção de histórias de leituras é trazida por Orlandi (2012b) como um dos componentes das condições de produção da leitura. Para a autora, todo leitor tem sua história e toda leitura tem sua história. A história de leituras do leitor corresponde às leituras já feitas por ele, as quais guiam a compreensão que se tem do texto. Por meio da memória, essas leituras são acionadas e possibilitam a construção dos sentidos. Todo texto tem também sua história, a qual varia com a época e com o tipo de discurso. Um mesmo texto pode significar de formas diferentes quando lido em épocas e circunstâncias distintas (ORLANDI, 2012b). Um poema pode ser lido com a finalidade de relaxamento, mas se trazido para a sala de aula será encarado de forma diferente: pode-se ir ao poema em busca do estilo literário do autor ou à procura de ideias científicas, entre outros.

Assim, para a autora, tanto as condições de produção da leitura como a intertextualidade, ou seja, essa relação com as leituras anteriores, dirigem a compreensão do texto, podendo limitar ou ampliar o entendimento sobre ele. Entretanto, por vezes, na escola uma mesma leitura é feita, não considerando as histórias de leitura dos leitores nem o momento, sendo retirada do estudante a possibilidade de construir sentidos. Cabe ressaltar que, por vezes, as avaliações escolares valorizam esse sentido único da leitura, que é reproduzido nas respostas dos estudantes.

Assim, embora sejam possíveis várias leituras, existem sentidos previstos (dominantes) para um texto. A previsibilidade dos sentidos se dá a partir de dois fatores:

o primeiro deles diz respeito à historicidade dos sentidos, ou seja, dentro de determinadas condições de produção há a sedimentação de determinado sentido, construído historicamente. Outro fator refere-se à relação de um texto com outros, a intertextualidade, o que indica como um texto deve ser lido (ORLANDI, 2012b). Segundo a autora, por vezes, a leitura do livro didático é considerada a ideal na escola, e o seu autor é tomado como autoridade pelo professor, que se guia por esta leitura. Nela, só um sentido é esperado para o texto, rejeitando-se a polissemia e as histórias de leitura. Ocorre, também, uma reprodução das leituras, independente dos sujeitos que irão ler e do contexto em que se insere.

Em uma aula de Química, por exemplo, a palavra “base” possui um sentido previsto, a partir do ponto de vista científico: um conceito sedimentado historicamente e dominante dentro daquele contexto, que designa uma classe de compostos inorgânicos. Entretanto, outros sentidos podem ser construídos pelos estudantes para essa mesma palavra, a partir das histórias de leitura de cada um, os quais podem se tornar um obstáculo ao aprendizado, ou possibilitarem a construção de outros conhecimentos pelo estudante. Por vezes, esses outros sentidos são desconsiderados, ou seja, a polissemia é contida, e o sentido dominante é o único válido. Entendemos que deve ocorrer o diálogo entre professores e estudantes de forma a negociar os sentidos e construir uma perspectiva científica.

Nesse contexto, Almeida, Silva e Machado (2001) nos lembram que os estudantes chegam à escola com uma história, uma bagagem cultural e ideias acerca da Ciência, as quais, juntamente com a mediação proporcionada pelos professores e colegas, guiam a produção de sentidos na leitura. E destacam a importância da construção da memória do estudante, a qual ele irá recorrer na resolução de situações futuras. Assim, o ensino não pode se restringir à memorização de leis e teorias, mas deve proporcionar ao estudante conhecer suas aplicações e as formas como a Ciência é produzida.

Sobre os modos de se encarar um texto, Geraldi (2011) aponta quatro posturas comuns: a leitura busca de informações, a leitura estudo do texto, a leitura como pretexto e a leitura fruição. Embora o autor se refira à área de Língua Portuguesa, podemos pensar as leituras feitas nas aulas de Ciências da Natureza a partir dessa abordagem.

Na leitura busca de informações, o leitor vai ao texto a fim de recolher informações, mesmo que não saiba ao certo com qual finalidade. Na sala de aula, a motivação para a leitura é, muitas vezes, a resposta a um questionário. Assim, lê-se para responder às perguntas elaboradas por outras pessoas, e que não correspondem a

questionamentos dos estudantes (GERALDI, 2011).

Quando pensamos as leituras que são feitas nas aulas de Ciências da Natureza, notamos que, em sua maioria, elas ocorrem desta forma. O livro didático é quase a fonte exclusiva de leitura, a qual se volta à busca de informações, conceitos e definições visando a resposta a exercícios (CASSIANI; GIRALDI; VON LINSINGEN, 2012). Nestes, costumeiramente, ocorre a chamada repetição formal, o “escreva com suas palavras” e até a empírica, ou seja, a reprodução de trechos dos livros. Como estas são leituras valorizadas, e o livro didático é tido como autoridade, o estudante é aprovado em sua atividade. Entretanto, nos questionamos se, de fato, ocorreu aprendizagem nesse caso.

Por outro lado, fazemos leituras em busca de informações quando, no dia a dia, surgem dúvidas sobre algum medicamento que vamos tomar ou sobre algum acontecimento cotidiano, e recorreremos à internet para entender do que se trata. Nesse caso, as perguntas que guiaram a leitura do texto não foram elaboradas por outros, mas trazem dúvidas dos próprios sujeitos. E as informações colhidas permitem construir um entendimento da situação em que se encontram.

Para Geraldi (2011), a leitura busca de informações pode ser guiada por perguntas diretas, ou exigir do leitor uma maior profundidade, demandando a relação com outros textos, com a visão de mundo do sujeito, etc. Flôr (2009a) aponta que podemos lançar mão desse tipo de leitura quando trazemos situações problemáticas para os estudantes, como um júri simulado. Nesse caso, o estudante é envolvido pelo tema, desenvolve seus próprios questionamentos e vai ao texto em busca de informações que lhe permitam construir seu argumento. Neste caso, as leituras realizadas pelos estudantes não se limitam à busca de informações para responder questões de uma prova, mas permitem ao estudante construir outros sentidos diferentes dos já estabilizados na sala de aula.

O segundo modo de leitura apontado por Geraldi (2011) é a leitura estudo do texto. Nela, o leitor vai ao texto a fim escutá-lo, verificar os pontos de vista defendidos, os argumentos apresentados, etc. Para tanto, o autor sugere uma sequência metodológica a ser seguida: identificação da tese defendida no texto, dos argumentos que sustentam essa tese, bem como dos contra-argumentos apresentados e, por fim, a análise da coerência entre os argumentos e a tese. Segundo Flôr (2009a), o estudo do texto abre espaço para a multiplicidade dos sentidos, a partir das diferentes leituras que os estudantes fazem.

Na leitura como pretexto, o texto serve de motivação para o desenvolvimento de outras atividades, como a ilustração, a escrita de outros textos, a dramatização, etc. (GERALDI, 2011). Esse tipo de leitura é bem comum em salas de aula, quando se traz

um texto para introduzir determinado conteúdo, ou em questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) ou de vestibulares, quando é apresentado o trecho de uma reportagem ou de um livro e, a partir dele, é elaborada a questão. Entretanto, Flôr (2009b) alerta que, por vezes, após a leitura, passa-se ao conteúdo e o texto é esquecido, sem a retomada de questões sociais, ambientais, etc., que podem estar envolvidas na problemática discutida.

Por último, Geraldi (2011) traz a leitura fruição, aquela feita por prazer, sem obrigação, e que, geralmente, não ocorre na escola. Para o autor, precisamos trazer essa leitura para escola, proporcionando aos estudantes circularem pela biblioteca, trocarem livros com os colegas, enfim, garantindo o acesso à leitura. Além disso, para o autor, a constituição dos leitores se dá no ato da leitura, sendo importante construir esse caminho de leituras. E quanto mais esse caminho é trilhado, mais profundas serão as novas leituras, pois se abre espaço para a intertextualidade.

Por meio da AD, podemos olhar para esse último ponto a partir do conceito de história de leituras. Concordamos com Orlandi (2012b) quando argumenta que a escola tem o papel de contribuir para a construção da história de leituras dos alunos. Desta forma, abre-se espaço para que o estudante opere por meio da intertextualidade, estabelecendo novos sentidos para as leituras e se movendo com relação à reprodução dos sentidos dominantes.

Nesse contexto, torna-se importante permitir aos estudantes construir suas próprias leituras, isto é, construir sentidos diferentes daqueles já estabilizados no âmbito da sala de aula. Em revisão realizada por Flôr e Cassiani (2011), as autoras trazem a inserção de textos não didáticos no ensino de ciências como uma forma de proporcionar aos estudantes novas práticas de leitura. Assim, textos de divulgação científica, jornalísticos, literários e artigos científicos são algumas possibilidades para o desenvolvimento de atividades de leitura em sala de aula. As autoras destacam, ainda, que tais textos contribuem para modificar o discurso do professor, por vezes autoritário, para uma interação dialógica com os estudantes.

Na próxima seção, iremos nos debruçar um pouco mais sobre as práticas de leitura e escrita desenvolvidas nas aulas de Ciências da Natureza. Ressaltamos, desde já, a importância de que a leitura seja trabalhada também nos cursos de formação de professores, etapa fundamental para se alcançar os estudantes da Educação Básica.

### 3.3 LEITURA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A preocupação com a leitura no ensino de ciências não é tão recente, com diferentes perspectivas e referenciais atravessando essa discussão. Em uma revisão de literatura realizada por Baker (1991 apud ALMEIDA; SILVA; MACHADO, 2001) de artigos publicados na *Science Education*, até o ano de 1989, o autor encontrou 20 artigos que traziam reflexões sobre os livros didáticos e a compreensão de textos. Também em âmbito internacional, Almeida, Silva e Machado (2001) destacam a publicação em 1994 de um número especial do periódico *Journal of Research in Science Teaching*, intitulado “*The Reading - Science Learning – Writing Connection*”. Os onze artigos publicados nessa edição trouxeram reflexões sobre leitura e escrita no ensino de ciências, sendo a leitura apontada como um fator associado à aprendizagem.

No Brasil, uma discussão relativa à prática da leitura no ensino de ciências é observada pelo menos desde os anos 1990. Almeida e Ricon (1993) discutem algumas possibilidades a partir da inserção de textos de divulgação científica e literários em aulas de Física, defendendo, para além da aprendizagem de conceitos científicos, a incorporação do hábito de leitura. Concordamos com os autores quando apontam a importância da escola como um local que proporciona aos estudantes interações culturais, sendo a leitura uma delas.

Segundo Almeida, Silva e Machado (2001), desde 1995 são realizados seminários que abordam a leitura no ensino de ciências, bem como questões relativas à linguagem, no âmbito do Congresso de Leitura do Brasil - COLE. Como resultado dos seminários, houve a publicação de livros e artigos sobre o tema.

Flôr e Cassiani (2011) fizeram um levantamento em oito periódicos da área de Educação Científica e Educação Química, cobrindo o período de 2000 a 2008, buscando pelos termos linguagem, leitura, análise de discurso e formação de leitores. Uma das abordagens que emerge da revisão realizada pelas autoras é a linguagem tomada exclusivamente como um produto do pensamento, que não contribui para com ele, reforçando a ideia de transmissão de conteúdo. No entanto, por mais que a linguagem científica busque a neutralidade, ela não é transparente, o que se reflete em estudos sobre o papel das analogias e metáforas no ensino.

Outra característica que emerge da revisão de literatura realizada pelas autoras é a tomada da linguagem enquanto ferramenta de apropriação do conhecimento que está posto. Neste caso, entende-se que os sentidos já estão prontos nos textos, bastando aos

estudantes encontrá-los. Não se pretende compreender os sentidos atribuídos à Ciência, nem se posicionar de forma crítica diante dela, mas somente aceitar o que está dado. Por outro lado, as autoras apontam trabalhos que discutem o funcionamento de textos não didáticos (divulgação científica, jornalístico, etc.) em sala de aula, abordando a forma como são utilizados e os sentidos construídos através da sua leitura. Sobre esses textos, os trabalhos indicam que:

[...] podem funcionar como elementos motivadores ou estruturadores da aula, organizadores de explicações, desencadeadores de debates e contextos para a aquisição de novas práticas de leitura; a utilização desse tipo de texto exige a introdução de atividades de leitura em sala de aula; alguns aspectos do funcionamento do discurso pedagógico (autoritário) podem ser deslocados pelo funcionamento de textos de divulgação científica em sala de aula; as condições de produção de sentidos e as histórias de leituras dos sujeitos leitores influenciam no funcionamento dos textos em salas de aula (FLÔR; CASSIANI, 2011, p. 78).

Ainda com relação aos textos utilizados em sala de aula, outra característica que emergiu dos trabalhos levantados pelas autoras é o foco nos textos escritos. Assim, foram encontrados trabalhos que analisam livros didáticos, divulgação científica, literário, entre outros, no intuito de compreender as possibilidades e modificações sofridas por esses textos em situações didáticas. Entretanto, mais do que incluir novos tipos de leitura é necessário pensar a forma como essas leituras são conduzidas, de modo a possibilitar aos estudantes refletirem sobre os textos. Nesses casos, busca-se a formação do leitor, perspectiva levantada em alguns trabalhos (FLÔR; CASSIANI, 2011).

Outro aspecto mencionado pelas autoras é a relação de professores e futuros professores com a leitura. Nos trabalhos levantados, os professores fazem uma distinção entre a leitura escolar e o ler por prazer. A primeira é relacionada à obrigatoriedade, sendo cansativa, desinteressante e associada à busca de informações; a leitura prazerosa seria aquela que não está ligada à obrigação e à rotina escolar. As autoras destacam que para esses professores não houve um espaço de reflexão sobre a leitura durante a formação inicial, sendo necessário criar oportunidades de debates sobre a importância do professor na formação do leitor (FLÔR; CASSIANI, 2011).

A revisão de literatura realizada por Flôr e Cassiani (2011) mostra uma diversidade de aspectos que emergem da interface entre leitura e ensino de ciências, os quais vão desde a formação dos professores até o funcionamento da leitura em sala de aula, passando pela escolha e adequação dos textos. Quando focamos o texto, é importante destacar a utilização de diferentes tipos textuais e suas possibilidades. Nos tópicos

seguintes trazemos uma discussão acerca dos dois tipos discursivos trabalhados nesta tese, os textos originais de cientistas e de divulgação científica.

### 3.3.1 TEXTOS ORIGINAIS DE CIENTISTAS

Os materiais originais correspondem a textos, documentos, imagens e objetos físicos que foram elaborados em outras épocas, ou nos dias atuais, e trazem registros desses conhecimentos. Dentre esses estão, portanto, os textos escritos pelos próprios cientistas e destinados aos seus pares, doravante denominados originais de cientistas. Esses materiais normalmente circulam no ambiente acadêmico, e utilizam uma linguagem característica da formação discursiva em que se inscrevem, com termos específicos da área e, algumas vezes, uma linguagem matemática rebuscada, especialmente em textos mais atuais (ALMEIDA; SORPRESO, 2011). Embora escritos para publicação em periódicos e espaços específicos da Ciência, esses mesmos textos podem circular fora do ambiente acadêmico, e contribuir para o ensino das ciências.

Textos originais de cientistas de séculos passados têm sido utilizados como mediadores do conhecimento científico no ambiente escolar, em diversos níveis de ensino. Souza e Almeida (2001) trabalharam com estudantes da 8ª série do Ensino Fundamental textos originais de cientistas, que pensaram o fenômeno da fotossíntese. As autoras destacam que nestes originais o cientista apresenta como pensava o problema, como tentou resolvê-lo, quais dúvidas teve, entre outras características que mostram os cientistas como pessoas comuns, que erram e acertam. Por esse motivo, as autoras consideram que a leitura destes textos aproximou os estudantes dos cientistas, e mostrou uma incompletude da Ciência, evidenciando os processos e falhas.

Pagliarini e Almeida (2016) trabalharam com estudantes do Ensino Médio um texto original de cientista, escrito por Max Planck do início do século XX, abordando noções básicas da Física Quântica. Os autores destacam a linguagem utilizada no texto, de caráter mais narrativo e sem a formalização matemática comum a essa disciplina, como um fator que facilitou a compreensão pelos estudantes.

Zanotello (2011) trabalhou noções da termodinâmica e teoria cinética dos gases com estudantes do primeiro ano de um curso superior, a partir da leitura de uma série de originais de cientistas do século XIX. O autor aponta que tal leitura pode potencializar não só a compreensão de conceitos científicos, mas, também, de aspectos relacionados à própria construção do conhecimento, contribuindo para desfazer visões distorcidas.

Segundo Zanotello (2011), para contar como trabalhavam, quais questões e dúvidas os guiavam e quais procedimentos seguiam, os cientistas lançam mão de um estilo narrativo, que aborda mais os aspectos metodológicos e conceituais do que a linguagem matemática, o que auxilia na leitura dos textos. Por outro lado, o autor aponta que a linguagem muitas vezes rebuscada e a ausência de ilustrações e esquemas são fatores que dificultam a leitura pelos estudantes.

Silva e Almeida (2020) discutem a produção de sentidos sobre a Ciência em textos originais. A partir da análise de trechos de Niels Bohr sobre a teoria atômica, os autores apontam para a construção de sentidos sobre a relação entre teoria e experimento, as limitações associadas à teoria apontada por Bohr, o diálogo do cientista com a comunidade científica, a busca por uma coerência interna na Ciência e a sua relação com fatores externos. Os autores mostram que a leitura de tais trechos pode levar o estudante a uma compreensão não só do modelo atômico, mas, também, de processos de construção desse conhecimento.

Cabe destacar que o fato de o texto ter sido escrito pelo próprio cientista mobiliza o imaginário do leitor sobre quem é o autor do texto: um cientista detentor de conhecimentos. Dada a relação de forças que se estabelece, os leitores podem atribuir um caráter de verdade ao texto. Em sua pesquisa, Zanotello (2011) observou esse poder que a fala do cientista exerce nos estudantes, que atribuíram ao texto um caráter de maior autoridade.

Outra característica dos originais de cientistas apontada por Zanotello (2011) diz respeito às mudanças conceituais que ocorreram ao longo do tempo. Quando lemos textos antigos, notamos que um termo pode assumir sentidos diferentes hoje e na época em que foi escrito. Por meio da AD, compreendemos que a multiplicidade de sentidos é uma característica da própria linguagem, pois cada sujeito constrói significados a partir das suas condições de produção. Ao mesmo tempo, como discutido por Souza e Almeida (2001), os sentidos se sedimentam historicamente, ou seja, há sentidos que serão privilegiados dada a época em que o texto foi escrito. Por esse motivo, um texto original de cientista precisa ser lido considerando o contexto em que foi escrito. Por outro lado, as autoras apontam que os sentidos podem ser outros, e a sua leitura nos dias atuais abre espaço para diferentes interpretações, visto que estamos imersos em um contexto diferente.

Diante do exposto, observamos que os textos originais de cientistas de séculos passados quando apropriados no ensino das ciências apresentam grande potencial:

propiciam a construção de conceitos científicos dentro do contexto em que foram propostos; permite discussões sobre as características da Ciência, aproximando os estudantes do fazer científico e dos cientistas.

Trazemos neste trabalho a leitura de um texto original escrito por Dimitri Mendeleev sobre a construção da lei periódica e sua representação gráfica, a tabela periódica. Analisamos possíveis produções de sentidos sobre a tabela periódica e sobre a Ciência nessa obra, pensando a interface com o ensino de Química. Nesse contexto, cabe destacar que a leitura deve ser realizada tendo em vista a época em que o texto foi escrito, bem como os conhecimentos e práticas da Ciência naquele momento histórico.

### 3.3.2 TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A divulgação científica pode ser vista sob diversas perspectivas, não havendo um consenso sobre sua definição. Diferentes tipos de materiais têm sido considerados como sendo de divulgação científica, por exemplo: textos de Ciência e tecnologia publicados em jornais, revistas ou livros; séries de televisão, rádio ou podcasts que abordam a temática científica; folhetos informativos sobre a importância das vacinas; exposições museográficas, entre outros. Assim, são veiculados por meio de diferentes suportes e desenvolvidos por profissionais de diversas áreas (NASCIMENTO, 2008).

Na busca por uma caracterização da DC, Nascimento (2008) aponta que embora não haja um consenso em torno de sua definição, alguns pontos emergem da discussão. Primeiramente, a DC seria produzida tanto por jornalistas quanto por cientistas, com a finalidade de popularizar os conhecimentos científicos e tecnológicos para um público de não especialistas, e permitir a familiarização com os processos da Ciência e os cientistas. Assim, uma das funções dos divulgadores seria simplificar a linguagem para o seu público, evitando ao máximo as distorções das informações.

Entretanto, entendemos que na divulgação não ocorre apenas o compartilhamento de conhecimentos científicos de forma neutra. Trópia (2008) aponta que a DC atende a interesses diversos: políticos, econômicos, relativos à imagem da Ciência e ao público a que se destina. O trabalho de Flôr (2009b) expõe um episódio em que a divulgação dos feitos da Ciência, nesse caso a síntese dos elementos transurânicos, atendia a pressões sociais e à necessidade de mostrar as contribuições da Ciência para a sociedade em um contexto de guerra.

Nesse sentido, Trópia (2008) sugere que a DC deveria exercer um papel crítico

com relação à Ciência. Essa posição também é assumida por Orlandi (2010), que argumenta que além de permitir ao leitor um diálogo com os conhecimentos científicos, a DC deve proporcionar o olhar crítico para a sua produção. Em uma sociedade em que o saber se articula ao poder, a apropriação desses conhecimentos permitiria aos sujeitos interferirem em seu desenvolvimento.

Para Orlandi (2005), a DC torna o saber público, e o faz de uma maneira própria, pois, por meio dela, a Ciência deixa de ocupar o seu espaço comum, o dos cientistas, e passa a ser vista como algo presente no cotidiano dos sujeitos, o que a autora denomina efeito de “exterioridade” da Ciência. Por meio desse efeito, mesmo sem ser um cientista, o sujeito se torna um leitor de Ciência e, “ao “compreender” a ciência, estabelece com ela uma relação – como massa crítica – que a impulsiona, que lhe dá uma forma, uma realidade social sensível, sem a qual a ciência não funciona” (ORLANDI, 2005, p. 156).

A assunção de uma função crítica passa por uma abordagem não somente *da* Ciência, mas, também, *sobre* ela. Para tanto, a divulgação científica deve incorporar discussões sobre a história e a natureza dos conhecimentos científicos. Assim, há que se preocupar com qual história está sendo narrada nos textos de divulgação científica e qual a imagem de Ciência ela transmite, se linear, anacrônica e solitária, ou social e contextualizada (LORENZETTI; RAICIK; DAMASIO, 2021).

Pensando as características do discurso de divulgação científica, para Orlandi (2005), a DC não é uma tradução do discurso científico, mas uma interpretação. Para Orlandi (2005, 2010), na DC há um constante diálogo entre o discurso da Ciência e do cotidiano e uma encenação da fala dos cientistas, sob a forma da menção aos mesmos através de construções do tipo “segundo o cientista X”. Na menção, também são adicionadas informações sobre pessoas, datas, locais, circunstâncias, de forma a enfatizar o diálogo com o discurso científico e a autoridade do texto.

Para Zamboni (2001), a DC também não é a reformulação do discurso científico, mas um gênero discursivo específico, sujeito a condições de produções diferentes do discurso científico. A autora caracteriza a DC a partir de três aspectos: conteúdo temático, estilo verbal e construção composicional. Com relação ao tema, a DC aborda conteúdos relacionados à Ciência e tecnologia por meio de um estilo verbal que foge à linguagem fechada do discurso científico. Para tanto, lança mão de analogias, generalizações, simplificações, comparações, entre outros recursos que visam a aproximação com o público leigo. Com relação à composição, a DC utiliza a retomada de conhecimentos básicos para o entendimento do tema abordado, a construção de narrativas para

envolvimento do leitor, a segmentação da informação em pequenas partes, entre outros (ZAMBONI, 2001).

Dadas as características da DC, ela tem sido apropriada no ensino de ciências. Segundo Almeida (2010), essa inserção é potencializada pela linguagem usada na DC, a qual, em muitos casos, se aproxima da linguagem cotidiana e da linguagem literária; pela abordagem de aspectos da vida dos cientistas, dos contextos de produção dos conhecimentos e das suas consequências para a sociedade. Assim, essas características contribuem para o funcionamento da DC em contexto escolar, que pode assumir as funções de:

motivação e estímulo à participação dos estudantes, complementação de materiais didáticos, desenvolvimento de habilidades e práticas de leitura, estabelecimento de relações entre a linguagem do estudante e a linguagem científica, contato com valores sócio-culturais implícitos ou explícitos nas informações presentes em reportagens sobre ciência e tecnologia, possibilidades de se explorar relações entre ciência, tecnologia e sociedade, e formação de espírito crítico e reflexivo (NASCIMENTO, 2008, p. 6).

Além das funções acima descritas, concordamos com Almeida e Ricon (1993) e Targino e Giordan (2015) que apontam a inserção da DC no ensino de ciências como uma possibilidade de incentivar o hábito da leitura nos estudantes e a integração entre Ciência e cultura.

Segundo Almeida e Ricon (1993), a DC apresenta uma visão geral dos fenômenos sem se aprofundar em pontos de maior dificuldade de compreensão, e constitui-se em um ponto de acesso a descobertas e controvérsias da Ciência. Mais uma vez, concordamos com as preocupações de Lorenzetti, Raicik e Damasio (2021), também compartilhada por Targino e Giordan (2015), quanto à abordagem histórica e acerca da natureza da Ciência que é realizada na DC.

Nesse contexto, a divulgação científica poderia potencializar discussões de aspectos culturais, sociais e epistemológicos da Ciência, contribuindo para uma visão crítica sobre a mesma. Entretanto, em revisão de literatura realizada por Lorenzetti, Raicik e Damasio (2021) em periódicos brasileiros, foram encontrados poucos trabalhos que discutem de forma explícita tais relações, havendo uma necessidade de desenvolver pesquisas que envolvam as interações entre a divulgação científica, a história e a natureza da Ciência. Os autores também apontam a demanda de análises dos materiais de DC já existentes, visando auxiliar em sua inserção em sala de aula.

Como já abordamos, a DC visa alcançar o público leigo e, para tanto, lança mão de uma linguagem mais acessível. Entretanto, alguns textos possuem alto grau de

dificuldade. Silva e Almeida (2014) apresentam um estudo realizado com estudantes do Ensino Médio no qual foi utilizado um texto de DC considerado de difícil leitura, que apresenta alta densidade de conceitos científicos, sem muitas explicações e contextualizações. Assim, é um texto que pressupõe um leitor familiarizado com a área. Na pesquisa realizada pelos autores, essa dificuldade com a leitura gerou um descontentamento e desinteresse nos estudantes. O trabalho nos mostra que a utilização da DC em sala de aula não garante o interesse dos estudantes, sendo, por vezes, necessária uma recontextualização da mesma a fim de conferir maior acessibilidade ao texto.

Nesse contexto, Nascimento (2005) aponta alguns obstáculos à aprendizagem de conceitos científicos advindos do uso da DC. O primeiro obstáculo refere-se à simplificação da linguagem, que pode levar a conceitos equivocados ou à utilização de metáforas e analogias cujo referente não é conhecido pelo estudante. Além disso, com a utilização de metáforas, corre-se o risco de não se realizar a transposição da imagem para o conceito a que se pretende chegar, gerando um obstáculo à aprendizagem.

O segundo obstáculo está na interação entre aluno e texto, pois no ato de leitura o estudante pode construir variados sentidos, próximos ou distantes do objetivo que se pretende alcançar. Entretanto, como entendemos a leitura como interpretação a partir de suas condições de produção, em qualquer texto haverá produção de múltiplos sentidos pelos estudantes, visto que o sentido não está fixado à palavra, mas decorre de suas condições de produção (ORLANDI, 2012a). Por esse motivo, o uso de DC em sala de aula requer a mediação do professor, tanto quanto em outros tipos textuais, sendo necessária uma seleção e análise prévia dos textos.

Como já abordado, a DC difere do discurso científico, mas pode funcionar como mediadora do discurso escolar relativo à Ciência, possibilidade explorada por Almeida (2010). Segundo a autora, o discurso científico atual tem como uma de suas características o apagamento do sujeito que o produziu na busca de uma pretensa objetividade. Assim, procura-se evitar a multiplicidade de sentidos, enquanto o discurso escolar relativo à Ciência deve trabalhar com a possibilidade de diferentes interpretações construídas a partir das histórias de leituras dos diferentes sujeitos leitores. Desta forma, deve-se

trazer para o discurso escolar relativo à ciência, além de aspectos do discurso científico propriamente dito, também as condições de produção daquele discurso, a sua historicidade. Busca-se assim produzir um discurso destinado a, por um lado facilitar a interlocução com quem busca interpretá-lo, e por outro, satisfazer a proposta de possibilitar uma compreensão da ciência como construção humana (ALMEIDA, 2010, p. 20).

Pensamos que desta forma a DC pode contribuir para a construção de

conhecimentos *de* Ciência e *sobre* a Ciência, como enfatizado anteriormente. Embora a DC possa ser apropriada pelo contexto escolar, é importante pensar a sua relação com o discurso pedagógico. Segundo Orlandi (1987), o discurso pedagógico aproxima-se do autoritário, ou seja, há uma tendência à permanência do sentido único. Assim, o objeto do discurso aparece como algo que se deve saber e que se pretende científico, o que pode ser observado a partir da metalinguagem e da apropriação do cientista pelo professor. Por meio da metalinguagem pode-se entender a substituição das falas dos estudantes por outras consideradas “mais adequadas”, que se apresentam como científicas. A autora aponta ainda que no discurso pedagógico há uma apropriação do cientista, sem que se explicita que ocorre uma mediação do conhecimento científico. Nesse contexto, cabe ao estudante a repetição empírica ou formal.

Para Silva e Almeida (2005), ao contrário do discurso pedagógico que apaga a voz do cientista, tomando-a para si, a DC evidencia sua diferença com relação à Ciência. Assim, no discurso de DC há uma constante menção ao texto da Ciência, mostrando que se trata de um discurso sobre a Ciência, ao contrário do pedagógico que se pretende da Ciência. Outra característica apontada pelos autores seria a justaposição dos discursos científico e cotidiano. Essas características do discurso de divulgação científica, são apontadas pelos autores como oportunidade para o deslocamento do funcionamento do discurso pedagógico para um discurso polêmico, possibilitando múltiplas interpretações.

Assim, com base no exposto, pensamos que o texto de divulgação científica selecionado para análise nesta tese pode possibilitar discussões acerca da tabela periódica, seu processo histórico de construção e expor características da Ciência. Tais aspectos permitiram uma abordagem contextualizada da tabela periódica, indo além da memorização de informações e de tendências periódicas, como observado por meio da revisão de literatura, contribuindo para uma visão crítica acerca da Ciência. Desta forma, cabe questionar: quais os efeitos de sentidos construídos sobre a tabela periódica emergem da leitura da obra “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”?

No próximo capítulo, construímos o dispositivo de interpretação, o qual nos permite interpelar os textos escolhidos para a análise em busca de sentidos possíveis para a tabela periódica.

## 4 ESTABELECENDO AS BASES PARA A ANÁLISE

### 4.1 O DISPOSITIVO DE INTERPRETAÇÃO

Por meio das noções da AD apresentadas anteriormente, compreendemos a linguagem como não transparente, ou seja, os sentidos não estão fixados ao texto, mas decorrem de suas condições de produção. Assim, não cabe ao analista de discurso responder somente à pergunta “o que isso significa?”, mas compreender como determinado enunciado produz sentidos. Para tanto, o analista do discurso precisa desenhar seu dispositivo de interpretação, que

[...] tem como característica colocar o dito em relação ao não dito, o que o sujeito diz em um lugar com o que é dito em outro lugar, o que é dito de um modo com o que é dito de outro, procurando ouvir, naquilo que o sujeito diz, aquilo que ele não diz mas que constitui igualmente os sentidos de suas palavras (ORLANDI, 2012a, p. 59).

Ressaltamos que o objetivo do analista de discurso não é apontar sentidos “certos” ou “errados”, mas sim compreender como o discurso funciona. Também não é feita uma análise do sujeito autor, mas das posições sujeitos que emergem do discurso.

O dispositivo de interpretação é de dois tipos, o teórico e o analítico. O dispositivo teórico tem a função de orientar o analista na observação do funcionamento discursivo, e é constituído pelas noções da AD, as quais permitem interpelar o texto e fornecem subsídios para compreender os efeitos de sentido dos discursos (ORLANDI, 2010). Assim, constituem o dispositivo teórico deste trabalho as noções: discurso como efeito de sentidos entre interlocutores; sujeito como uma posição ideológica marcada pela história; interdiscurso como o já-dito e que dialoga com outros dizeres; formação discursiva como um dos locais de onde derivam os sentidos, em conjunto com as condições de produção e as histórias de leitura dos sujeitos; e leitura como momento de produção de significados.

Segundo Orlandi (1998, 2010), por meio do dispositivo teórico, deslocamos da posição de leitor, sujeito comum, que opera por meio do efeito de evidência da ideologia, para a posição de analista, que coloca o dizer em relação a outros dizeres, e em relação ao não dito. É também por meio do dispositivo teórico que nos movemos entre as fronteiras de diferentes formações discursivas de forma crítica.

O dispositivo analítico é aquele construído por cada analista frente à questão que guia a análise, os objetivos, o tipo de material analisado e o campo de estudo do analista. Tudo isso abarcado pelo dispositivo teórico que permite ao analista observar o

funcionamento discursivo (ORLANDI, 2010).

Retomando a questão de estudo, neste trabalho buscamos responder à seguinte pergunta: como a leitura de um texto de divulgação científica e um original de cientista sobre a tabela periódica pode contribuir para a produção de efeitos de sentidos sobre esse artefato? Para a constituição do *corpus* bruto de análise selecionamos um texto de divulgação científica, o livro “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, escrito por Sam Kean, e um texto original de cientista sobre a tabela periódica, “*The periodic law of the Chemical elements*”, escrito por Mendeleev.

Para construção do dispositivo analítico, também trazemos conhecimentos relativos à tabela periódica e à sua construção, abordados no capítulo um, e que nos auxiliam na compreensão de sentidos relacionados ao campo de estudo da Química. Também constitui o dispositivo analítico uma compreensão sobre a abordagem da tabela periódica na pesquisa em ensino de Química, conforme apresentado no capítulo dois, bem como as características discursivas dos tipos textuais divulgação científica e originais de cientistas, como abordamos no capítulo três.

Segundo Orlandi (2010), também constituem o dispositivo de análise os procedimentos que permitem ao analista explicitar como os sentidos são construídos. Neste trabalho, destacamos a metáfora, entendida como a transferência de sentidos de uma palavra para outra, a paráfrase, como o retorno a um mesmo dizer já estabelecido, e a polissemia, como o deslocamento dos sentidos.

## 4.2 CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO

Como abordamos no referencial teórico deste trabalho, segundo Orlandi (2012a) as condições de produção dos discursos são constitutivas dos sentidos, e compreendem os sujeitos, a situação e a memória. Cabe destacar que todo sujeito ocupa um lugar na sociedade, o que constitui a significação do que se diz, dadas as relações de força que se estabelecem. Assim, o discurso do cientista exerce certa autoridade sobre o leitor, já que ele fala a partir de um local onde circula um conhecimento tido como válido na sociedade. Também constituem os sentidos o contexto histórico-social de onde emergem os discursos, bem como a partir do qual os textos são lidos. Desta forma, na leitura dos textos, momento de produção de sentidos, a memória resgata já-ditos sobre a tabela periódica, sobre os autores, sobre a construção da Ciência, sobre quem é o cientista e o

divulgador da Ciência.

Nesse contexto, a leitura de um texto de divulgação científica e de um original de cientista não ocorre da mesma forma, pois cada uma mobiliza diferentes memórias. As relações que esses textos estabelecem com a vida cotidiana e com a Ciência são distintas, pois são construídos em diferentes formações discursivas. As imagens que os leitores constroem sobre quem produziu cada texto também são variadas e contribuem para as relações de força que se estabelecem durante a leitura. Essas características de cada tipo textual apontam para um funcionamento diferente da leitura, levando a construções de sentidos diversas (ALMEIDA; SORPRESO, 2011).

Retomando os objetivos deste trabalho, procuramos compreender as possibilidades e limites de produção de efeitos de sentidos sobre a tabela periódica a partir da leitura de textos de divulgação científica e originais de cientista, bem como estabelecer possibilidades de articulação entre os efeitos de sentidos possíveis para a classificação dos elementos químicos e a construção da tabela periódica presentes em tais textos.

Como apresentado acima, selecionamos para análise trechos do livro de divulgação científica de Kean (2011). A escolha se deu por ser um livro que figura entre os mais vendidos na área de Química em livrarias online<sup>12</sup> no Brasil e *best-seller* nos Estados Unidos. É de fácil acesso e conhecido entre alguns professores e estudantes. Além disso, Targino e Giordan (2015), apontam como presentes no livro a narrativa de descoberta de diferentes elementos químicos, as controvérsias entre cientistas, e as possibilidades de abordagem da lei periódica.

O livro “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, foi escrito pelo norte americano Sam Kean, em 2010, e traduzido e publicado em português em 2011. Kean se formou em Física e Inglês na Universidade de Minnesota, e é mestre em Biblioteconomia<sup>13</sup>. É colaborador da revista *Science* e tem seus trabalhos publicados no jornal norte americano *New York Times*, e em divulgadores de Ciência como o *Mental Floss*, *New Scientist*, entre outros. Também é autor de seis livros que abordam temas da Ciência, alguns dos quais premiados por diferentes instituições.

O livro, escrito originalmente em inglês, foi traduzido para o português por Claudio Carina, tradutor da editora Zahar. A revisão técnica do livro foi realizada por

---

<sup>12</sup> [https://www.amazon.com.br/gp/bestsellers/books/7842621011/ref=zg\\_b\\_bs\\_7842621011\\_1](https://www.amazon.com.br/gp/bestsellers/books/7842621011/ref=zg_b_bs_7842621011_1)

<sup>13</sup> <http://samkean.com/samkean/>

Diego Vaz Bevilaqua, bacharel e doutor em Física, com atuação na área de divulgação da Ciência pela Fundação Oswaldo Cruz.

No livro de 374 páginas, sem se preocupar em seguir uma ordem cronológica dos fatos, Sam Kean narra diferentes histórias e curiosidades que cercam os elementos químicos. Em entrevista publicada no site da editora Zahar<sup>14</sup>, quando questionado sobre a escrita do livro, o autor respondeu: “[...] quis cobrir um monte de diferentes áreas da vida, como economia e artes ou o que for, porque a tabela periódica cruza com diferentes áreas da vida. Mas, acima de tudo, eu queria encontrar boas histórias – não apenas fatos relacionados aos elementos.”

De forma geral, sem seguir uma ordem cronológica, Sam Kean narra diferentes histórias que envolvem os elementos químicos e a construção da tabela periódica. Após a seção de Introdução, o livro é dividido em cinco partes, sendo a primeira delas composta por três capítulos, e as demais por quatro, totalizando dezenove capítulos na obra. Para cada um deles, o autor indica, logo abaixo do título, os elementos que irão guiá-lo em sua narrativa. Ao todo, são abordados os 112 elementos conhecidos quando da publicação do livro, no ano de 2010. Destacamos que os mesmos não são agrupados nos capítulos seguindo critérios da classificação periódica, mas de acordo com as temáticas elencadas pelo autor.

Logo na Introdução, o autor relata eventos de sua infância que o levaram a se interessar pela Química, com destaque para a dança das bolinhas de mercúrio que se espalhavam pelo chão quando o termômetro quebrava. Segundo Sam Kean, aos poucos ele foi colecionando narrativas sobre os elementos químicos, que conversavam com a história, literatura, biologia, mitologia, psicologia, etc., as quais reuniu nesse livro. Ainda na Introdução, o autor relata que, embora formado em Física, preferia as histórias e a escrita ao laboratório e às fórmulas. E, envolvido pelas histórias dos elementos da tabela periódica, ele resolveu “[...] escrever este livro para descascar todas as suas camadas, uma a uma, como as transparências em um livro-texto de anatomia que contam a mesma história em diferentes profundidades” (KEAN, 2011, p. 11).

A Parte I, denominada “Orientação: coluna por coluna, linha por linha”, se divide em três capítulos. Inicialmente, em “Geografia como destino” o autor apresenta a tabela periódica ao leitor, mostrando como ela está organizada, explicitando tendências de comportamento das propriedades dos elementos, e apresentando características de alguns

---

<sup>14</sup> [http://zahar2.tempsite.ws/catalogo\\_exclusivo.asp?id=1355&ide=582](http://zahar2.tempsite.ws/catalogo_exclusivo.asp?id=1355&ide=582)

grupos. Nesse capítulo, o autor lança mão de metáforas para caracterizar a tabela, as quais serão analisadas adiante neste trabalho. No segundo capítulo, “Quase gêmeos e as ovelhas negras: a genealogia dos elementos” o autor destaca as semelhanças e diferenças entre elementos de um mesmo grupo, e a importância dessas observações para o reconhecimento de tríades de elementos, apontando para a organização da tabela periódica. No capítulo três, “As ilhas Galápagos da tabela periódica” o autor narra um pouco da história de Mendeleev e da construção de sua tabela. Nesse ponto, os trabalhos de Meyer e Newlands são brevemente abordados.

A Parte II: “Fazendo átomos, quebrando átomos” tem início com o capítulo quatro, “De onde vêm os átomos: ‘Todos somos feitos do material das estrelas’”, que tem como fio condutor o surgimento dos elementos. O capítulo seguinte, “Elementos em tempos de guerra”, narra a produção de armas químicas e a fabricação de material bélico. Seguindo com a temática das guerras, o capítulo “Completando a tabela... com um estrondo” inicia abordando um importante passo na construção da tabela periódica, a partir do entendimento do conceito de número atômico. O autor também narra os avanços do início do século XX, com o surgimento da mecânica quântica, os estudos sobre a radioatividade e a descoberta do nêutron, os quais levaram ao entendimento das reações de fissão nuclear, e à construção da bomba atômica na Segunda Guerra Mundial. A história da tabela periódica é retomada por meio de Henry Moseley e a organização dos elementos em função do número atômico. O capítulo sete, “Ampliando a tabela, expandindo a Guerra Fria”, aborda a síntese dos elementos transurânicos, mostrando a ampliação da tabela com a inclusão deste grupo de elementos, e a disputa entre a Ciência norte americana e soviética.

A Parte III, “Confusão periódica: o surgimento da complexidade”, é composta por quatro capítulos nos quais o autor se dedica à interação de diferentes substâncias e elementos com o corpo humano, sejam para causar ou curar doenças. Também aborda o estudo de moléculas fundamentais no organismo humano, como o DNA, e as consequências da deficiência de determinados nutrientes, como o iodo. Ao abordar este elemento, o autor constrói um parágrafo sobre a inversão feita por Mendeleev na posição de iodo e telúrio na tabela periódica, de forma a agrupá-los com elementos semelhantes.

A Parte IV, intitulada “Os elementos da personalidade humana”, tem início com o capítulo 12, “Elementos políticos”. Neste capítulo, o autor narra as conquistas e dificuldades enfrentadas por cientistas em meio a lutas políticas nos países europeus, especialmente nos contextos de guerra. Destacamos a abordagem do trabalho das

cientistas mulheres, Marie Curie, Irene Joliot-Curie e Lise Meitner, e as dificuldades para serem aceitas na Ciência, problemas que enfrentamos ainda nos dias de hoje. Nos capítulos seguintes, o autor associa diferentes elementos químicos ao dinheiro, sua utilização para produção e falsificação de moedas, bem como para o combate a fraudes em notas. Também aborda a relação entre artistas dos séculos XVIII e XIX e as ciências. Dentre esses artistas, destaca o escritor alemão Goethe, e sua relação com o químico Dobereiner, que introduziu a ideia de tríades de elementos, cerca de 50 anos antes da tabela de Mendeleev.

Na quinta e última parte, “A ciência dos elementos hoje e amanhã”, o autor inicia narrando histórias sobre as mudanças no comportamento dos elementos a baixas temperaturas. Em seguida, traz a ciência das bolhas e espumas, e experimentos que permitiram a descoberta de partículas subatômicas, estudos sobre a idade do universo, entre outros. Também aborda o uso de elementos químicos para a construção de diferentes instrumentos de medidas. Por fim, no último capítulo do livro, “Acima (e além) da tabela periódica”, Kean aponta o actínio como elemento-chave para o formato da tabela, pois após a sua descoberta e dos elementos que o seguem, Seaborg propôs a separação desse grupo dos metais de transição e a sua alocação abaixo dos lantanídeos. Posteriormente, o autor fala sobre a existência de inúmeras outras possibilidades de formatos para a tabela e aponta para modificações futuras. Apesar de todas as possibilidades, o autor conclui destacando a simplicidade e clareza com que a tabela periódica comumente utilizada, e reproduzida na Figura 1, consegue abarcar diferentes informações sobre os elementos.

Trazemos também a análise do texto original escrito pelo químico russo Dimitri Mendeleev, “*The periodic law of the Chemical elements*”, uma conferência apresentada pelo cientista em quatro de junho de 1889, para a *Chemical Society* da Grã-Bretanha. Esse texto foi publicado como apêndice no livro “*The Principles of Chemistry*” (MENDELÉEFF, 1897), também de autoria de Mendeleev. Neste trabalho, consultamos a edição de 1897 do livro e, portanto, a referência utilizada para a palestra é deste ano, e não de 1889, ano em que foi proferida. A edição consultada consta de dois volumes e foi traduzida para o inglês por George Kamensky, a partir da sexta edição russa da obra. Como não encontramos este material em português, fizemos a tradução a partir da versão em inglês.

Por meio de Campos (2009), fundamentada nos estudos da tradução e na AD, compreendemos a tradução como resultado da interpretação. Segundo a autora, até a década de 1970, havia um ideal de neutralidade e passividade do tradutor diante da obra.

Essa visão decorria, dentre outros fatores, da falsa ideia de transparência da linguagem, discutida anteriormente, segundo a qual existiriam sentidos prontos por trás do texto, cabendo ao leitor decodificá-los. Entretanto, compreendemos que os sentidos são produzidos a partir de suas condições de produção que, no caso da tradução envolvem outros textos consultados pelo tradutor – dicionários, artigos e livros relacionados ao tema, outras traduções etc.

Desta forma, para as leituras e tradução de Mendeléeff (1897), buscamos artigos e livros que abordam os conceitos relacionados à estrutura atômica e à tabela periódica à época de Mendeleev (BENSAUDE-VINCENT, 1986; BROOKS, 2002; OKI, 2007, 2009; SCERRI, 2007), a fim de melhor compreender as determinações históricas dos sentidos. Consultamos o trabalho de Baia (2010) que também utilizou excertos do artigo “*The periodic law of the Chemical elements*”. Assim, compreendemos que trazemos neste trabalho um dos sentidos possíveis para a tradução, construído a partir de nossas leituras.

Destacamos, nesse contexto, que o discurso deve ser compreendido a partir de suas condições de produção e, neste caso, temos como contexto imediato uma palestra proferida a químicos do século XIX. Por isso, apresenta conceitos que diferem do entendimento atual. A palavra elemento, por exemplo, envolve sentidos diferentes com relação aos dias de hoje. Como já abordado, o termo elemento trazia uma definição operacional nos séculos XVII e XVIII. No século XIX, o peso atômico foi adotado como critério de caracterização e, no século XX, o número atômico passou a definir o elemento químico (OKI, 2002). Assim, quando da leitura desse texto original, é preciso ter em conta as noções e conceitos existentes naquele momento histórico.

Segundo Baia (2010), Mendeleev escreveu o livro “*The Principles of Chemistry*” com o objetivo de apresentar os fundamentos da Química de maneira clara a seus alunos de Química Inorgânica. O livro é destinado a leitores iniciantes na Química, que deveriam estudar o texto principal, e a leitores com maior domínio do assunto, que encontrariam nas notas de rodapé uma discussão mais aprofundada.

Na palestra “*The periodic law of the Chemical elements*”, inicialmente, o autor discute brevemente a relação entre teoria e experimento. Em seguida, retoma as oito conclusões a que chegou sobre a lei periódica, e que haviam sido apresentadas por ele à Sociedade Química Russa em 1869, ano em que propôs sua primeira tabela periódica. Posteriormente, Mendeleev apresenta três pontos que ele considera como fundamentais para a elaboração da tabela e aprofunda suas discussões sobre a lei periódica. Também discute tentativas de expressar a periodicidade de propriedades físicas dos elementos por

meio de funções matemáticas. Por fim, apresenta contribuições da lei periódica para ampliação dos conhecimentos sobre os elementos, destacando a descoberta de novos elementos, a previsão de fórmulas de compostos e de propriedades físicas e químicas dos elementos.

No capítulo seguinte, trazemos uma análise de trechos das obras citadas, a partir do referido dispositivo analítico, visando compreender os possíveis efeitos de sentidos sobre a tabela periódica e buscando estabelecer possibilidades de articulação entre estes efeitos e a construção da tabela periódica.

## 5 ALGUNS EFEITOS DE SENTIDOS NOS TEXTOS SELECIONADOS

Neste capítulo trazemos alguns efeitos de sentidos possíveis sobre a tabela periódica e a sua construção, inferidos a partir da leitura de discursos presentes na obra de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos” (KEAN, 2011), e no texto original de cientista “*The periodic law of the Chemical elements*” (MENDELÉEFF, 1897). Também buscamos nos discursos presentes nessas obras compreender os sentidos possíveis sobre a atividade científica que emergem dos textos.

### 5.1 LEITURAS DA OBRA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Iniciamos as análises pela obra de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”. Como nosso objeto de estudo é a tabela periódica, focamos a análise nos capítulos do livro que a abordam diretamente. Assim, nos detivemos em seções da Introdução e capítulo um (Parte I), nos quais o autor apresenta a tabela periódica ao leitor e explicita algumas de suas características. Também abordamos seções dos capítulos três (Parte I), seis e sete (Parte II), nos quais são narrados episódios históricos de construção da tabela. As seções analisadas foram adicionadas ao Anexo 01 deste trabalho.

No primeiro momento da análise, apresentamos algumas características do discurso que nos permitem compreender a relação do autor com o leitor, bem como caracterizá-lo enquanto uma obra de divulgação científica. Em seguida, buscamos ancorar as metáforas utilizadas pelo autor em tabelas periódicas propostas ao longo do tempo. Por fim, discutimos alguns sentidos possíveis sobre as características da Ciência que emergem da leitura.

#### 5.1.1 “A COLHER QUE DESAPARECE [...]” ENQUANTO OBRA DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A divulgação científica apresenta como uma de suas características a abordagem de temas científicos e tecnológicos para um público leigo, visando a familiarização com os processos da Ciência e com os cientistas (NASCIMENTO, 2008). Esta característica também é apontada por Zamboni (2001) que destaca ainda: a construção composicional que busca uma aproximação com o leitor por meio de recursos de envolvimento,

recuperação de conhecimentos tácitos, entre outros; e o estilo verbal que dispensa a linguagem hermética da Ciência, ou exclusivamente da formação discursiva da Química, e lança mão de recursos como analogias, simplificações, comparações etc. Com base nesses pontos, trazemos agora a análise de trechos do livro que nos permitem caracterizá-lo como divulgação científica e observar seu modo de funcionamento.

Com relação à temática, Kean explora ao longo de toda a obra histórias relacionadas à Ciência, especificamente aos 112 elementos químicos conhecidos até a data de publicação do livro. Para tanto, aborda questões que envolvem o corpo humano, como saúde, medicamentos, DNA, antibióticos, entre outros. Discute a origem do universo e dos elementos químicos. Também apresenta os contextos de guerra como pontos de desenvolvimento da Ciência, destacando as armas químicas e nucleares, a Primeira e Segunda Guerras Mundiais e a Guerra Fria. Traz aspectos políticos, econômicos, artísticos, sociais etc. que envolvem a síntese e usos dos elementos.

Com relação à estrutura composicional, destacamos o estilo narrativo utilizado pelo autor ao longo do livro, que o aproxima do gênero literatura, por meio da “literalização” das narrativas. Esse mecanismo pode ser observado no relato de eventos científicos em que ocorre a inserção de impressões pessoais do autor, em meio a uma narrativa espontânea, diferente do que ocorre em artigos científicos (ZAMBONI, 2001). Observamos esse recurso no trecho a seguir, no qual ao apontar fatores que justificam o destaque dado à proposta de Mendeleev, o autor narra passos seguidos pelos cientistas, insere impressões sobre eles e uma possível fala de Mendeleev, como destacado no excerto abaixo:

Mais importante de tudo, enquanto tanto ele como Meyer deixaram espaços em branco onde nenhum elemento se encaixava na tabela, Mendeleiev, ao contrário do medroso Meyer, teve a coragem de prever o lugar onde os novos elementos se encaixariam. *Procurem com mais afinco, químicos e geólogos*, ele parecia instigar, *pois vocês ainda vão encontrá-los*. Ao rastrear as características dos elementos conhecidos ao longo de cada coluna, Mendeleiev chegou a prever as densidades e os pesos atômicos de elementos ainda não descobertos, e as pessoas ficaram estupefatas quando algumas previsões se mostraram corretas. (KEAN, 2011, p. 53, grifos nossos).

Na construção do livro, Kean também lança mão de narrativas de envolvimento, pequenas histórias ilustrativas provavelmente com o objetivo de manter a atenção do leitor, as quais são intercaladas às informações científicas (ZAMBONI, 2001). Esse recurso pode ser observado quando o autor narra pequenos eventos sobre sua infância logo na Introdução do livro, ao contar pequenas curiosidades sobre os cientistas, entre outros. Um exemplo pode ser visto abaixo:

Alguns anos depois, Mendeleiev, já famoso, divorciou-se da mulher e quis se casar de novo. Embora sua igreja local e conservadora tenha dito que ele teria de esperar sete anos, Mendeleiev subornou um padre e conseguiu se casar. Essa artimanha o transformou em um bígamo, mas ninguém se atreveu a prendê-lo. (KEAN, 2011, p. 54).

Dessa forma, diferentemente do que ocorre comumente em textos que circulam na formação discursiva da Ciência, Kean adota um estilo narrativo que, segundo Zamboni (2001), visa facilitar a compreensão da informação que se pretende difundir e tornar a leitura mais atraente. Outra característica apontada pela autora em textos de divulgação científica é a adoção de um vocabulário que não se prende às formalidades do discurso científico, podendo ocorrer a utilização de metáforas, coloquialismos, comparações, gírias, entre outros. Podemos observar essa característica nos trechos apresentados acima, que utilizam uma linguagem menos formal. Também são bastante comuns a utilização de comparações pelo autor, como no trecho a seguir: “Assim como seu contemporâneo russo Dostoievski – que escreveu O jogador em três semanas para pagar dívidas de jogo –, Mendeleiev produziu sua primeira tabela para cumprir o prazo final de um editor de livros.” (KEAN, 2011, p. 54).

A utilização de uma linguagem menos hermética do que a observada em textos científicos e didáticos, pode contribuir para a produção de sentidos diversificados na leitura de uma divulgação científica. A fim de mostrar o funcionamento desses diferentes tipos textuais, apresentamos, a seguir, um trecho retirado de um livro didático de Química utilizado no Ensino Superior (I) e um trecho retirado do texto de divulgação científica (II). Destacamos que o objetivo não é compará-los a fim de tomar um como melhor do que o outro, mas destacar os diferentes modos de funcionamento de cada tipo discursivo.

- I. “A configuração eletrônica de um elemento controla o número de ligações que um átomo de um elemento pode formar e afeta suas propriedades químicas e físicas” (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 644).
- II. “[...] as coordenadas de um elemento determinam quase tudo cientificamente interessante sobre ele” (KEAN, 2011, p. 17).

A leitura destes trechos nos permite entrever alguns deslizamentos de sentidos. Aqui, entendemos deslize não como falha, mas como transferência de sentidos. Para Orlandi (2012a, p. 79), “o processo de produção de sentidos está necessariamente sujeito ao deslize, havendo sempre um ‘outro’ possível que o constitui”. Desse modo, a

substituição de uma palavra por outra transfere sentidos, ou seja, produz um deslize na interpretação.

No trecho I, a configuração eletrônica é o fator responsável por controlar o número de ligações e as propriedades químicas e físicas dos elementos. No trecho II, o autor utiliza o termo coordenada para se referir possivelmente à distribuição eletrônica, que é posteriormente explicitada no livro, e aponta como as coordenadas determinam “quase tudo cientificamente interessante”. Assim, é possível observar os seguintes deslizamentos de sentidos:

I	II
configuração eletrônica	→ coordenadas
número de ligações e propriedades químicas e físicas	→ quase tudo cientificamente interessante

Assim, no trecho I, retirado de um livro didático de Química do Ensino Superior, o número de ligações e as propriedades dos elementos são determinados pela distribuição eletrônica, enquanto no trecho da divulgação científica, isso não é tudo que as coordenadas determinam. No trecho I, temos uma leitura prevista dentro do contexto escolar, um sentido cristalizado na formação discursiva da Química, e que, muitas vezes, é tomado como o sentido ideal.

Por outro lado, a construção apresentada no trecho II não usa termos específicos da formação discursiva da Química e abre espaço para a multiplicidade de sentidos: o que mais seria interessante sobre os elementos? Pensando as aulas de Química, onde o sentido que importa está relacionado ao número de ligações e às propriedades periódicas, no questionamos o que esse deslocamento nos sentidos pode provocar. Quais informações despertam o interesse científico do leitor? Quais informações o leitor desconsidera? Para o autor, a Ciência não é tudo e, na tabela periódica,

entre o hidrogênio no alto à esquerda e as impossibilidades produzidas pelo homem à espreita na parte inferior, pode-se encontrar bolhas, bombas, dinheiro, alquimia, politicagem, história, veneno, crime e amor. E até um pouco de ciência. (KEAN, 2011, p. 12).

Nesse trecho, Kean aponta vários contextos em que os elementos químicos estão envolvidos e que, posteriormente, são explorados no livro. Essa abordagem contrasta com o ensino da tabela periódica comumente realizado e observado na revisão de literatura, o qual se baseia na memorização de informações sobre os elementos químicos, como nome,

símbolo, número atômico. Estes, por sua vez, tornam-se sem sentido para os estudantes, visto que são trabalhados de forma separada do seu dia a dia (ABRAS et al., 2012; SOUZA; MOZZER, 2015; ZERGER; MELO; LUCA, 2016). Por outro lado, a contextualização de conteúdos por meio da DC foi explorada por Targino e Giordan (2015, 2016) como um fator relevante para a aprendizagem dos estudantes, abordagem que também pode ser desenvolvida por meio da obra em análise.

Desta forma, a partir dos deslizamentos observados, podemos dizer que no tipo textual livro didático, trecho I, temos a contenção da polissemia e a determinação dos sentidos. Por outro lado, na divulgação científica, trecho II, há uma abertura para maior multiplicidade dos sentidos. Assim, embora ambos os trechos se refiram à formação discursiva da Química, a relação com a polissemia é diferente, dados os diferentes tipos textuais. Ressaltamos que essas características não tornam um texto melhor do que o outro, mas explicitam modos de funcionamento diferentes, dadas as finalidades para as quais cada livro foi produzido.

O livro didático destina-se ao uso escolar e, para atender a essa finalidade, os conteúdos passam por um processo de didatização, no qual ocorre uma simplificação e, por vezes, a descontextualização dos conteúdos. Estes, por sua vez, por vezes podem ser reduzidos a definições tidas como verdades a serem decoradas para a avaliação (ALMEIDA; SORPRESO, 2011). Assim, na formação discursiva à qual pertencem os livros didáticos a multiplicidade dos sentidos tende a ser controlada, com a valorização dos sentidos sedimentados historicamente.

O livro didático, no Brasil, configura-se como uma leitura tradicional, tanto na Educação Básica quanto no Ensino Superior. Entretanto, entendemos que a leitura não pode se resumir ao caráter técnico e instrumental, objetivando apenas as notas. A leitura deve proporcionar ao estudante “trabalhar sua própria história de leituras, assim como a história das leituras dos textos e a história da sua relação com a escola e o conhecimento legítimo” (ORLANDI, 2012b, p. 48).

Por outro lado, a divulgação científica apresenta um aspecto subjetivo, derivado do uso de uma linguagem cotidiana ou próxima à literária, dos aspectos humorísticos por vezes explorados, da aproximação dos conhecimentos científicos aos seus processos e relações com a sociedade, entre outros. Essa subjetividade pode contribuir para que o leitor produza sentidos, mediados pela polissemia (ALMEIDA, 2010). Entendemos que não ocorre na divulgação científica a tradução do discurso científico, mas a transferência de sentidos, ou seja, “é preciso que se produza um efeito metafórico pelo qual algo que

significava de um modo, desliza para produzir outros efeitos de sentidos, diferentes.” (ORLANDI, 2005, p. 153). Assim, a partir da história de leitura do leitor, do contexto histórico-social, cultural e ideológico, podem ser produzidos outros sentidos para o trecho II, sendo que o sentido determinado historicamente entra como um dos constituintes das condições de produção da leitura, mas não seu determinante.

Pensamos que ao questionar o leitor sobre o que mais seria cientificamente importante sobre os elementos, possibilitamos que ele resgate suas memórias discursivas e opere por meio do interdiscurso, recuperando aspectos significativos sobre os elementos. Assim, abre-se espaço para o diálogo com as histórias de leitura e as memórias dos estudantes, no caso da leitura em sala de aula. Pode-se chegar, por exemplo, a uma discussão sobre a presença dos elementos no corpo humano, ou em medicamentos, ou ainda em armamentos, como muitas vezes é abordado na obra de Sam Kean. Permite, ainda, resgatar a história da descoberta dos elementos, e a sua importância na construção da tabela periódica, da Ciência e da humanidade. Desta forma, pensamos que ao resgatar essas histórias abrimos espaço para “aspectos fundamentais que atestam a história das relações com o conhecimento tal como ele se dá em nossa sociedade [...]” (ORLANDI, 2012b, p. 46).

Por meio da AD compreendemos que a relação estabelecida pelos interlocutores constitui o que se diz, ou seja, as posições que os sujeitos ocupam no discurso contribuem para a construção dos sentidos. Essas posições emergem no discurso, e podem ser observadas a partir das formações imaginárias em suas relações de forças materializadas nos discursos (ORLANDI, 2012a). Portanto, é trabalho do analista compreender quem são os sujeitos interlocutores, os locais que ocupam no discurso, bem como as relações estabelecidas entre eles, movimento que nos propomos agora.

O capítulo um, intitulado “Geografia como destino”, inicia com o autor acessando suas memórias escolares sobre a tabela periódica: “um quadro pendurado na parede nas aulas de Química, um gráfico assimétrico cheio de colunas e linhas pairando sobre os ombros do professor” (KEAN, 2011, p. 15), o qual podia ser consultado durante as provas. O autor lembra que ao mesmo tempo que parecia muito bem organizada, seus números e siglas traziam confusão, e muitos estudantes não conseguiam relacioná-la a outras ciências. Em meio a essas memórias, o autor ressalta:

Claro que a sensação de frustração que a gente talvez relacione com a lembrança da tabela periódica podê se originar no fato de que, apesar de estar livre e disponível para consulta, de funcionar como uma cola gigantesca e permitida, nada daquilo adiantava (KEAN, 2011, p. 15, grifos nossos).

O primeiro ponto que destacamos é a construção “a gente talvez relacione”. Nesse trecho, o uso do pronome pessoal “a gente” coloca o autor nesse lugar de frustração e não entendimento da tabela periódica, e traz o leitor para junto dele. Em seguida, o autor usa o quantificador “talvez”, e o modo subjuntivo – que não traz certeza sobre a ação (BECHARA, 2019) – na construção “pode se originar”. Essas expressões atenuam o sentido da frase, colocando a sensação de frustração como uma possibilidade para o leitor, o que nos diz algo sobre a imagem que o autor tem sobre seu interlocutor. Ao mesmo tempo, ao se colocar como alguém que também não compreendia totalmente a tabela periódica, o autor aponta uma proximidade com o leitor, contribuindo para estabelecer uma relação pessoal com ele.

Seguindo com a leitura do capítulo um, notamos que o autor dedica boa parte do capítulo para retomar conhecimentos básicos sobre a estrutura atômica, e que são fundamentais para o entendimento da organização da tabela periódica. Assim, para abordar o comportamento dos gases nobres, o autor recupera o entendimento sobre o modelo atômico e a regra do octeto:

Existe uma razão para o hélio se comportar dessa forma. Todos os átomos contêm partículas negativas chamadas elétrons, que residem em diferentes camadas, ou níveis energéticos, dentro do átomo. Esses níveis se aninham de forma concêntrica uns dentro dos outros, e cada nível precisa de um certo número de elétrons para ser preenchido e se sentir satisfeito. No nível mais interno, esse número é dois. Em outros níveis, em geral é oito. (KEAN, 2011, p. 19).

Prosseguindo com a leitura do capítulo, o autor aborda conhecimentos relativos à distribuição eletrônica, e que também são fundamentais para o entendimento da estrutura da tabela periódica.

Quando percorremos a tabela periódica na horizontal, cada elemento tem um elétron a mais que seu vizinho da esquerda. O sódio, elemento 11, normalmente tem 11 elétrons; o magnésio, elemento 12, tem 12 elétrons, e assim por diante. À medida que aumentam de tamanho, os elementos não só organizam os elétrons em níveis energéticos como também os armazenam em diferentes prateleiras, chamadas de orbitais. Porém, conformistas e sem imaginação, os átomos vão preenchendo os orbitais e os níveis energéticos na mesma ordem à medida que percorremos a tabela horizontalmente. Os elementos do lado extremo esquerdo da tabela posicionam o primeiro elétron num orbital S, que é esférico, pequeno e retém apenas dois elétrons – o que explica as duas colunas mais altas à esquerda. (KEAN, 2011, p. 28).

Esse mecanismo compreende o que Zamboni (2001) denomina de recuperação de conhecimentos tácitos, ou seja, a retomada de conhecimentos pressupostos para o entendimento do tema central. Esse movimento ao longo do livro nos aponta, mais uma

vez, para a imagem que o autor tem de seus interlocutores: leitores não especializados em Química e no tema tabela periódica.

A partir dessa representação de seu interlocutor, o autor se coloca no lugar do leitor e ouve suas próprias palavras, por meio do mecanismo de antecipação. Segundo Orlandi (1987, p. 126), por meio desse mecanismo “o locutor experimenta o lugar de seu ouvinte, a partir de seu próprio lugar: é a maneira como o locutor representa as representações de seu interlocutor e vice-versa”. Esse mecanismo é de natureza argumentativa, ou seja, ele guia a argumentação visando alcançar determinado efeito de sentido sobre o interlocutor. Assim, a partir do discurso construído pelo autor, podemos dizer que constituem suas formações imaginárias a imagem de um leitor que possivelmente tem dificuldades em compreender a tabela periódica e que necessita da recuperação de conhecimentos fundamentais.

Ainda no capítulo um, o autor apresenta um caminho para a compreensão da tabela periódica: “Antes de apresentar a tabela periódica, os professores deveriam remover toda a confusão de números e letras e fazer os alunos examinarem a coisa em branco.” (KEAN, 2011, p. 16, grifos nossos). Nesse trecho, destacamos inicialmente a construção “os professores deveriam remover”, no qual o autor utiliza o verbo “dever”, que pode indicar uma necessidade ou obrigação. Esse verbo aparece no modo indicativo, o qual traz uma certeza sobre a ação, que aparece como um fato real (BECHARA, 2019). Emerge então desse discurso uma posição sujeito especialista, imbuído de conhecimentos e capaz de recomendar ao professor uma maneira de ensinar seus alunos.

Embora a revisão de literatura tenha apontado a dificuldade de professores em trabalhar a tabela periódica em sala de aula, concordamos com Almeida (2006) quando a autora aponta que não existe um caminho único que resolva as questões envolvidas no ensino das disciplinas. A autora assinala a necessidade de superação das prescrições – o quê, quando e como ensinar – e das recomendações vazias, sem uma fundamentação teórica. Por vezes, essas recomendações não trazem o aprofundamento necessário e produzem a ideia do professor como um profissional técnico que somente executa tarefas, e não um profissional capaz de refletir sobre a sua própria prática. Entendemos que se torna importante discutir o ensino da tabela periódica na formação de professores, abordando não só o conteúdo em si, mas sua construção histórica, as metodologias de ensino, as formas de avaliar, entre outros aspectos que constituem os saberes dos professores.

A recomendação feita pelo autor é para que os professores removam “a confusão

de números e letras” (KEAN, 2011, p. 16). Assim, os números e letras, ou seja, as informações sobre número atômico, massa, símbolo e nome dos elementos são caracterizadas como confusão. Os significados dicionarizados da palavra confusão estão relacionados à falta de ordem ou de método, bagunça, engano na distinção de coisas ou pessoas, situação pouco clara ou de difícil resolução (PRIBERAM, 2021c). Assim, a palavra confusão relacionada à falta de ordem pode levar à ideia de que os dados apresentados na tabela não possuem uma coerência interna. Pensamos que associar tais características às informações presentes na tabela periódica pode fortalecer o imaginário da tabela periódica como algo difícil de ser compreendido.

Com base no exposto acima, podemos inferir que a obra “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”, apresenta traços característicos do discurso de divulgação científica. Como abordado, a divulgação científica constitui um espaço de diálogo entre a Ciência e o público não especialista (SILVA; ALMEIDA, 2005), aspecto presente ao longo de toda obra. As posições sujeito de um interlocutor leigo, bem como de um sujeito autor especialista emergem dos discursos. Para a adequação da linguagem ao destinatário, o autor lança mão da literalização das narrativas, da inserção de histórias de envolvimento do leitor, bem como de um estilo menos formal, que o diferencia tanto dos discursos científicos quanto dos escolares. Dentre os mecanismos para adequação da linguagem está a utilização de metáforas, aspecto que exploramos a seguir.

### 5.1.2 ENTRE METÁFORAS E HISTÓRIAS: ENTRELACES ENTRE DITOS E NÃO DITOS

Um ponto que nos chamou a atenção na leitura do livro é a utilização de metáforas para caracterização da tabela periódica. Segundo Nascimento (2005), as metáforas e analogias são muito utilizadas pelos autores de divulgação científica com o objetivo de trazer elementos considerados do cotidiano do leitor e facilitar a compreensão de conceitos e fenômenos. A autora destaca que em alguns casos a metáfora pode contribuir para o entendimento, mas em outros pode dificultá-lo. Como discutido no referencial teórico deste trabalho, a partir de Orlandi (2012a), na metáfora o sujeito atribui sentidos ao texto a partir do confronto entre os termos e da transferência de sentidos de um para o outro, baseado no acionamento da memória e dada uma determinada formação discursiva.

Segundo Freitas et al. (2014), as metáforas estão presentes no processo de construção da Ciência, contribuindo para divulgação e explicação de teorias, sendo

utilizadas em vários textos científicos clássicos. Ao longo do percurso de construção da tabela periódica, discutido no capítulo um desta tese, observamos como as metáforas estiveram presentes. A proposta de Chancourtois, por exemplo, recebeu o nome de Parafuso Telúrico, por sua semelhança com um parafuso. Em outra proposta, Newlands notou que as propriedades dos elementos se repetiam a cada oito elementos, levando-o à comparação com as oitavas musicais.

Na Introdução e no primeiro capítulo de “A colher que desaparece”, o autor utiliza metáforas para explicar algumas características da tabela periódica, comparando-a a diferentes objetos que considera do cotidiano do leitor. Algumas das metáforas são apresentadas abaixo, nas quais destacamos os referentes utilizados por Kean (2011).

“A tabela periódica é um catálogo” (p. 11).

“[...] a tabela periódica parecia organizada e bem acabada, quase um fruto da engenharia alemã para o máximo de utilidade científica.” (p. 15).

“Uma espécie de castelo” (p. 16).

“Cada tijolo é um elemento” (p. 16).

“Entre os metais e os gases, mais ou menos onde fica Kentucky no mapa dos Estados Unidos, encontram-se alguns elementos difíceis de definir” (p. 17).

“No todo, se cada tijolo fosse feito da substância que representa, um castelo feito desses elementos seria uma quimera, com anexos e asas de eras incongruentes ou, numa perspectiva mais caridosa, um projeto de Daniel Libeskind, com materiais aparentemente incompatíveis combinados num conjunto elegante.” (p. 17).

Dentre os referentes utilizados pelo autor, estão objetos que podem ser conhecidos de um leitor brasileiro, como um catálogo, mas outros que possivelmente não, como a localização do estado de Kentucky. Assim, considerando que o autor não é brasileiro, ele lança mão de um contexto mais relacionado ao seu país de origem, para os quais um leitor brasileiro pode produzir sentidos diferentes do esperado pelo autor.

Por meio de Orlandi (2012b) compreendemos que cada leitor tem sua história de leituras, ou seja, o conjunto de leituras já feitas e que contribuem para a construção de sentidos, podendo alargar ou restringir a compreensão de um texto. Assim, cada leitor irá construir diferentes sentidos para as metáforas a partir de suas histórias de leitura, das condições de produção, entre outros. Sentidos que podem se afastar ou aproximar do esperado pelo autor, e do sentido sedimentado historicamente para a tabela periódica.

Essa multiplicidade de sentidos é própria da natureza da linguagem, dada a sua não transparência. Concordamos com Souza e Almeida (2001) quando as autoras apontam a importância da valorização desses diferentes gestos de interpretação na mediação do conhecimento escolar, pois caminham em direção a uma Ciência menos autoritária e mais próxima ao estudante.

Tendo em vista as diferentes interpretações que podem ser feitas, trazemos neste momento leituras possíveis para algumas das metáforas utilizadas pelo autor. Na Introdução e no capítulo um, Sam Kean explora pelo menos três metáforas para a tabela periódica, as quais discutiremos a seguir. Inicialmente, a tabela é comparada a um catálogo, em seguida a um castelo e a um mapa. Assim, nos questionamos: quais os possíveis efeitos de sentidos que podem ser transferidos para a tabela periódica a partir das metáforas catálogo, castelo e mapa?

#### 5.1.2.1 O “catálogo” de Lavoisier

Na Introdução, ao narrar seu interesse pelas histórias que envolvem os elementos e seu fascínio pela tabela periódica, apontada por Sam Kean como uma realização científica, o autor inicia sua descrição, e o faz comparando-a a um catálogo.

Em seu nível mais simples, a tabela periódica é um catálogo com todos os diferentes tipos de matéria do nosso universo, os pouco mais de cem personagens que, com suas personalidades fortes, dão origem a tudo que vemos e tocamos. Seu formato também nos oferece pistas científicas de como essas personalidades se misturam umas com as outras nas multidões. Num nível um pouco mais complicado, a tabela periódica codifica todas as informações forenses sobre a origem de todos os tipos de átomo e quais átomos podem se fragmentar ou se transformar em átomos diferentes. Esses átomos se combinam naturalmente em sistemas dinâmicos como criaturas vivas, e a tabela periódica prevê como isso acontece. Prevê inclusive quais corredores de elementos nefastos podem prejudicar ou destruir coisas vivas. (KEAN, 2011, p. 11).

Quando pensamos em um catálogo, pode vir à mente a ideia de uma lista telefônica, ou um catálogo de livros, plantas, ou outros objetos listados em ordem alfabética. Assim, podemos pensar em um cadastro ou inventário de itens organizados a partir de determinado critério. Costa (2008) define catálogo como uma relação de coisas ou pessoas, geralmente organizada em ordem alfabética, e que apresenta uma breve descrição de cada item. Assim, podemos pensar a tabela periódica como esse inventário dos elementos identificados.

Ao associar o catálogo à tabela periódica, o autor recorre a um termo que considera presente na memória de seu leitor, visando a aproximação entre eles e a transferência à

tabela de características desse objeto. Assim, pode-se compreender a tabela periódica como uma lista contendo os “diferentes tipos de matéria”, ou “personagens” (metáfora utilizada para elementos) que “dão origem a tudo que vemos e tocamos”, como apontado pelo autor, os quais estão organizados segundo algum critério ainda não especificado.

Por analogia, o leitor poderia vislumbrar os elementos organizados em ordem alfabética, considerando uma memória discursiva ligada ao catálogo telefônico, por exemplo. Entretanto, a tabela periódica atual não está organizada seguindo a ordem alfabética dos nomes dos elementos químicos, visto que esse não é o critério de identificação dos elementos, mas sim em função do número atômico. Dessa forma, o leitor pode construir sentidos diferentes daqueles esperados dentro da formação discursiva da Química, mas que abrem espaço para a discussão sobre os critérios de organização dos elementos.

O leitor também poderia associar a tabela a catálogos populares de venda, como os das marcas de cosméticos. Nestes, os produtos estão agrupados em seções a partir de critérios de semelhança: perfumes, maquiagens, produtos anti-idade, entre outros. De igual modo, podemos pensar em critérios de organização para os elementos: sólido, líquido e gasoso, metais e ametais, naturais e artificiais, entre outros. De igual modo, a tabela periódica fornece características dos elementos, sobre as quais Sam Kean oferece algumas pistas: “como essas personalidades se misturam umas com as outras”, “codifica todas as informações forenses sobre a origem de todos os tipos de átomo” e “quais átomos podem se fragmentar ou se transformar em átomos diferentes” (KEAN, 2011, p. 11). Entretanto, o autor não especifica de que forma isso se dá na tabela, deixando uma lacuna que fica a cargo do leitor preencher. Como veremos adiante, em outros momentos do texto, o autor passeia por grupos de elementos, discutindo sobre como eles estão organizados na tabela periódica.

Assim, o texto permite ao leitor construir diferentes sentidos sobre os critérios de organização dos elementos químicos, a partir de suas diferentes histórias de leitura relacionadas a catálogos, e acionadas por meio da memória. Como apontado por Pêcheux (2014), um termo sempre significa em relação a outro termo, ou seja, as relações de sentido são construídas na intertextualidade. Disso decorre que leitores diferentes irão construir sentidos diferentes para a metáfora catálogo – tabela periódica. Como discutido por Orlandi (2012b), a leitura não é dada, mas é um processo que permite ao leitor atribuir sentidos ao texto, sobre os quais o autor não tem controle.

Compreender quais são os critérios de organização dos elementos é fundamental

para o entendimento da tabela periódica, visto que ela reflete as características dos elementos e permite prever suas propriedades. Atividades que envolvem a tentativa de organização dos elementos por meio de diferentes critérios se mostra frutífera, como no trabalho de Cunha, Peres e Stanzani (2014). Tais atividades expõem múltiplos caminhos e possibilidades de organização, bem como a necessidade de negociação com os pares para chegar a uma definição, processo que se assemelha à atividade científica. Também é importante destacar os diferentes critérios utilizados ao longo do tempo para a organização dos elementos, como iremos explorar adiante a partir da proposta de Lavoisier.

Neste trabalho, ancoramos as metáforas nas diferentes propostas de organização dos elementos ao longo do tempo, visando responder à questão de pesquisa proposta nesta tese. Assim, a imagem resgatada a partir do termo catálogo pode nos remeter à “Tabela das substâncias simples” (Figura 5), proposta por Lavoisier em 1789, e abordada no primeiro capítulo desta tese. Embora Sam Kean não apresente essa proposta em seu livro, nossas histórias de leituras nos permitem construir sentidos para o texto referentes a essa proposta.

Nesse contexto, destacamos inicialmente a definição de elemento adotada por Lavoisier, como o “[...] último termo a que chega a análise [...]” (LAVOISIER, 2007, p. 21). Aqui, cabe lembrar que durante toda a Idade Média perduraram as ideias alquímicas de composição da matéria. Os alquimistas traziam as noções de Aristóteles, de que todas as substâncias resultariam da combinação de quatro elementos: água, terra, fogo e ar, aos quais estariam associadas as características de frio, seco, quente e úmido (ALFONSO-GOLDFARB et al., 2016). Entretanto, Lavoisier adota uma definição operacional, na qual os elementos seriam aqueles possíveis de se obter por análises químicas. Tem-se, portanto, uma ideia de elemento ainda em construção, mas que se afastava dos conceitos alquímicos.

A provisoriedade do conhecimento sobre os elementos também fica clara nas observações tecidas por Lavoisier sobre a tabela, as quais receberam o título: “Sobre a tabela das substâncias simples ou pelo menos daquelas que o estado atual dos conhecimentos nos obriga a considerar como tais” (LAVOISIER, 2007, p. 118). O autor destaca, portanto, a provisoriedade da própria tabela, considerando que novos elementos, além dos 33 listados por ele, poderiam ser encontrados.

Como abordado no capítulo um desta tese, na Tabela das substâncias simples, Lavoisier organizou os elementos a partir de critérios empíricos, em quatro grupos:

“substâncias simples que pertencem aos três reinos e podem ser vistos como elementos nos corpos”, “substâncias simples não-metálicas oxidáveis e acidificáveis”, “substâncias simples metálicas oxidáveis e acidificáveis” e “substâncias simples salificáveis”. Assim, a reatividade dos elementos foi considerada um critério para a organização da tabela. Desta forma, tomando as palavras de Sam Kean, podemos dizer que a Tabela das substâncias simples, a qual chamamos aqui de “catálogo” de Lavoisier, fornece pistas de “como essas personalidades se misturam umas com as outras” (KEAN, 2011, p. 11).

Por fim, destacamos o trecho abaixo:

É de se presumir que as terras logo deixarão de ser contadas no número das substâncias simples; são as únicas, de toda essa classe, que não têm tendência a se unir ao oxigênio e fui levado a crer que essa indiferença pelo oxigênio, se me é permitido servir-me dessa expressão, tem a ver com o fato de que já estão saturadas. As terras, nessa maneira de ver, seriam substâncias simples, talvez óxidos metálicos oxigenados até certo ponto. Isso não passa, no máximo, de uma simples conjectura que apresento aqui. Espero que o leitor queira realmente não confundir o que dou por verdades de fato e de experiência com o que ainda não é, senão hipotético (LAVOISIER, 2007, p. 119).

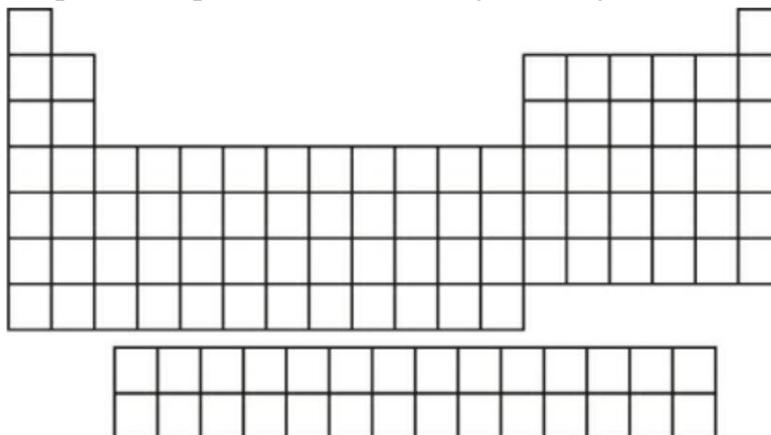
Neste trecho, Lavoisier faz referência às substâncias do grupo “substâncias simples salificáveis”, conhecidas atualmente como: óxido de cálcio, óxido de magnésio, óxido de bário, óxido de alumínio e óxido de silício. Embora Lavoisier desconfiasse que tais substâncias fossem compostas, a experiência não o deixava fazer tal afirmação e, por isso, manteve essas substâncias em sua tabela (FILGUEIRAS, 2007). Mais uma vez, observamos a provisoriedade do conhecimento quando Lavoisier aponta, no início do trecho, para uma futura retirada desses óxidos da lista das substâncias simples.

Destacamos que essa associação entre o catálogo e a tabela proposta por Lavoisier não é a única possível e nem a mais correta, mas uma das possibilidades a partir de nossas histórias de leituras e objetivo de trabalho. Outros leitores podem resgatar memórias discursivas diversas, construindo novos sentidos para a tabela periódica a partir da metáfora catálogo. Entretanto, salientamos nas análises a importância do estabelecimento de um critério de organização para os elementos.

#### 5.1.2.2 Mendeleev em seu “castelo”

Prosseguindo com a leitura do livro, no capítulo um, “Geografia como destino”, chegamos a outra metáfora utilizada pelo autor. Dessa vez, Kean apresenta a imagem de uma tabela periódica moderna só com os contornos, sem os nomes e símbolos dos elementos (Figura 18), e a compara a um castelo.

Figura 18: Imagem da Tabela Periódica apresentada por Sam Kean.



Fonte: Kean (2011, p. 16).

O que isso parece? Uma espécie de castelo, com uma muralha principal desigual, como se as mansões reais ainda estivessem em construção na parte superior à esquerda, com grandes torres de defesa nas duas extremidades. Contém dezoito colunas irregulares e sete linhas horizontais, com uma “pista de pouso” de duas colunas extras debaixo de tudo. O castelo é feito de “tijolos”, e a primeira coisa não óbvia a respeito é que os tijolos não são intercambiáveis. Cada tijolo é um elemento, ou um tipo de substância (até o momento, 112 elementos formam a tabela, e ainda faltam alguns), e o castelo inteiro desmoronaria se esses tijolos não estivessem exatamente onde estão. Não é exagero: se os cientistas determinassem que um dos elementos de alguma forma poderia caber numa caixa diferente ou que dois elementos poderiam trocar de lugar, o edifício inteiro desmoronaria. Outra curiosidade arquitetônica é o castelo ser feito de materiais diferentes em áreas diferentes. Isto é, nem todos os tijolos são feitos da mesma substância, nem apresentam as mesmas características. (KEAN, 2011, p. 16).

O termo castelo remete a fortificações muito difundidas na Europa na Idade Média. Residência para nobres, simbolizava poder e marcava as paisagens. Em tempos de guerra, servia tanto para o ataque quanto para a defesa. As muralhas, difíceis de serem derrubadas, protegiam do ataque inimigo; e as torres permitiam a observação do seu entorno. Ao mesmo tempo, dos castelos podiam partir as tropas de soldados, além de fornecer um ponto para ancoragem de armas para o ataque. Essa imagem é ratificada por Cruxen (2009), que aponta os castelos como construções que se destacam não só por seu tamanho imponente, mas por sua localização em pontos elevados do relevo. Atendiam à função de defesa de território e morada para a nobreza, simbolizando poder.

Em filmes e séries medievais, é comum a cena do castelo sendo conquistado pelas tropas inimigas. Pensando em um leitor brasileiro, como essas construções não são comuns no país, o imaginário sobre um castelo talvez decorra do acesso a essas mídias e/ou de leituras anteriores, as quais constituem as histórias de leituras do leitor,

contribuindo para o seu imaginário sobre o assunto. Ao mobilizar essas memórias do leitor, quais efeitos de sentidos podem ser construídos para a tabela periódica?

Em um primeiro momento, a tabela pode ser vista como esse monumento imponente presente no alto da sala de aula, como relatado por Sam Kean no início do capítulo um. “Normalmente era um painel enorme, de 2 metros de largura por 1,5 de altura, um tamanho tanto ousado quanto apropriado, dada sua importância para a química.” (KEAN, 2011, p. 15). Talvez imponente demais para ser conquistada. Essa imagem dialoga com as memórias resgatadas no início do capítulo um, quando o autor aponta para as dificuldades e angústias dos estudantes por não compreenderem esse artefato. Assim, pode construir sentidos que reforçam a ideia da tabela periódica como algo complexo.

Como abordado na revisão de literatura, esse é um conteúdo apontado pelos estudantes como difícil de ser compreendido, principalmente porque, por vezes, seu ensino se baseia na memorização de informações. Os estudantes apresentam dificuldades em compreender a constituição dos átomos, em relacionar a posição dos elementos à sua distribuição eletrônica e às suas propriedades (LIMA; SILVA; MATOS, 2010; VIANNA; CICUTO; PAZINATO, 2019). Por outro lado, pode servir como uma motivação a ideia de conquistar um castelo, como ocorre em jogos e filmes.

Em seguida, o autor associa o formato do castelo ao da tabela: “[...] com grandes torres de defesa nas duas extremidades. Contém dezoito colunas irregulares” (KEAN, 2011, p. 16), em referência às colunas verticais da tabela periódica, as quais denominamos grupos ou famílias. As torres de defesa relacionam-se às colunas 1 e 18 que se destacam nas extremidades. Possui “sete linhas horizontais”, denominadas períodos na tabela. E continua, “com uma ‘pista de pouso’ de duas colunas extras debaixo de tudo” (KEAN, 2011, p. 16), referindo-se às séries de lantanídeos e actinídeos, ou seja, as duas séries de elementos posicionadas na parte inferior da tabela e que se iniciam com os elementos lantânio e actínio.

O castelo a que se refere Sam Kean é feito por tijolos, termo utilizado como metáfora para elemento: “Cada tijolo é um elemento, ou um tipo de substância”. Assim como as construções são feitas de tijolos, os elementos constroem a tabela periódica. Nesse momento, possivelmente, em uma tentativa de simplificar a linguagem, facilitando o entendimento do leitor, elemento e substância são apresentados como sinônimos.

Retomando algumas ideias discutidas no capítulo um desta tese, um elemento químico é definido como “uma substância composta por um único tipo de átomo”

(ATKINS; JONES, 2012, p. F16), enquanto substância é definida pelos mesmos autores como um “tipo de matéria pura e simples. Pode ser um composto ou um elemento” (ATKINS; JONES, 2012, p. 853). Isso significa que a molécula de  $H_2O$ , por exemplo, corresponde a um composto que apresenta dois elementos em sua constituição e é considerada uma substância composta. A molécula de  $O_2$  apresenta somente um tipo de átomo, o oxigênio, e corresponde a uma substância simples e não um elemento.

Assim, tanto a construção apresentada por Sam Kean quanto a definição proposta por Atkins e Jones, apresentam um equívoco que pode levar o leitor a transferir os mesmos sentidos para os termos elemento e substância. Oki (2002) mostra como esses conceitos são apresentados em livros didáticos de forma associada, gerando confusão entre os termos. Segundo a autora, tal equívoco decorre da tradução do vocábulo *element* da língua inglesa, que abrange tanto o conceito de substância simples quanto o de elemento. Ao mesmo tempo, a autora discute como o conceito de elemento evoluiu ao longo do tempo, estando associado à ideia de princípios constituintes, como feito por Aristóteles, passando pelos limites da análise química, como em Lavoisier. Também foi vinculado ao conceito de átomo e peso atômico, como considerado por Mendeleev, chegando a uma definição baseada no número atômico nos dias de hoje.

Nesse momento, retomamos Robilotta e Babichak (1997, p. 41) que afirmam que “definições não ensinam”. Os autores nos lembram como é comum a utilização de definições no ensino de Física, o que também podemos estender para a Química, como se a definição, por si só, expressasse seu significado. Entretanto, como reforçado pelos autores, a construção de significados é um processo individual relacionado ao contexto e aos sujeitos, o que pode levar a várias interpretações para uma mesma fala. Esse ponto de vista também dialoga com a noção da não transparência da linguagem, trabalhada por Orlandi (2012a), ou seja, os sentidos não são dados, mas construídos a partir das suas condições de produção.

Prosseguindo com a análise do trecho mostrado acima, na construção de uma casa ou de um castelo, os tijolos são usualmente semelhantes entre si, característica que pode ser transferida também para os elementos. Entretanto, o autor aponta que na tabela periódica os tijolos são diferentes entre si e não intercambiáveis, como demonstrado no trecho: “Não é exagero: se os cientistas determinassem que um dos elementos de alguma forma poderia caber numa caixa diferente ou que dois elementos poderiam trocar de lugar, o edifício inteiro desmoronaria.” (KEAN, 2011, p. 16).

Assim, ao contrário de uma construção onde os tijolos são todos iguais e podem

ser colocados em qualquer posição dentro de uma parede, na tabela os elementos não podem ser trocados de lugar, e têm sua posição definida e relacionada à configuração eletrônica dos elementos. Os trechos apontados até o momento trazem, portanto, informações importantes sobre o formato da tabela periódica, potencializa discussões sobre o que são os elementos químicos, e como esse conceito se modificou ao longo do tempo.

Retomando o imaginário construído para a palavra castelo, o leitor também pode resgatar memórias sobre os castelos que remetam essas construções somente a tempos antigos. Entretanto, da mesma forma que os castelos podem passar por reformas e se modernizarem, tanto externa quanto internamente, ou até mesmo serem construídos em tempos atuais, a tabela periódica também pode sofrer modificações. Nesse momento, podemos nos questionar: seria possível construir um castelo diferente, a partir de critérios diferentes? Seria possível os elementos ocuparem outras posições? Não seria possível trocar elementos de lugar? Os elementos sempre estiveram exatamente onde estão na tabela periódica? Passaremos agora a uma reflexão sobre essas questões.

Embora o formato da tabela periódica apresentado por Sam Kean se diferencie do formato apresentado por Mendeleev, iremos, em uma mirada histórica, retomar a tabela periódica proposta por esse químico em 1869. Fizemos essa escolha por dialogar com aspectos levantados por Sam Kean no trecho em destaque no início desta seção e com as questões trazidas acima. Destacamos que no capítulo três de “A colher que desaparece”, Sam Kean apresenta ao leitor a tabela proposta por Mendeleev e uma imagem da versão publicada em 1871.

Trazemos na

Figura 19, a seguir, a tabela periódica proposta por Mendeleev em 1869, com alguns pontos em destaque. Pensamos ser importante analisá-la e confrontá-la com a tabela periódica atual a fim de visualizar diferenças entre elas, no caminho de compreender as mudanças realizadas ao longo do tempo.

Um dos pontos de destaque da tabela de Mendeleev, que foi abordado no capítulo um desta tese, é a existência de espaços vazios, para os quais o cientista fez previsões de elementos até então desconhecidos. Dentre essas previsões, estão os elementos conhecidos atualmente como escândio, gálio e germânio, representados na tabela por “ $? = 45$ ”, “ $? = 68$ ” e “ $? = 70$ ”, respectivamente, os quais foram circutados na

Figura 19. Por se tratar de elementos até então desconhecidos, Mendeleev utiliza o ponto de interrogação para representá-los, indicando, em seguida, o peso atômico

previsto para cada um. Além de indicar algumas de suas propriedades, Mendeleev propôs que esses elementos seriam análogos aos elementos boro, alumínio e silício, respectivamente (SCERRI, 2007).

Figura 19: Inversões e previsões de elementos na tabela periódica de 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	Pd = 106,6	Os = 199	
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
		Zn = 65,2	Cd = 112	
		? = 68	Ur = 116	Au = 197?
		? = 70	Sn = 118	
		As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
		Se = 79,4	Te = 128?	
		Br = 80	J = 127	
		Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		Ce = 92		
		La = 94		
		Di = 95		
		Th = 118?		
H = 1				
Be = 9,4	Mg = 24			
B = 11	Al = 27,4			
C = 12	Si = 28			
N = 14	P = 31			
O = 16	S = 32			
F = 19	Cl = 35,5			
Li = 7	Na = 23			
	K = 39			
	Ca = 40			
	? = 45			
	?Er = 56			
	?Yt = 60			
	?In = 75,6			

Fonte: Adaptado de Lima, Barbosa e Filgueiras (2019).

Assim, a tabela periódica proposta por Mendeleev sistematizava os elementos já conhecidos e propunha a existência de novos elementos. Em 1875, uma primeira previsão de Mendeleev foi confirmada, com a identificação do gálio por Boisbaudran. Posteriormente, foi a vez dos elementos escândio e germânio serem identificados. À medida que suas previsões eram confirmadas, seu sistema passava a ser mais aceito pela comunidade científica da época. Outras previsões foram feitas por Mendeleev: algumas confirmadas e outras não. Importante destacar que o sistema proposto por Mendeleev passou a impulsionar as pesquisas em Química e a busca por novos elementos químicos (SCERRI, 2007).

Destacamos que o elemento gálio é o responsável pelo título do livro de Sam Kean. Esse metal tem ponto de ebulição igual a 29°C e, se utilizado para moldar uma colher, esta iria se liquefazer em contato com um café quente ou, até mesmo, se segurada com as mãos. A identificação do gálio por Boisbaudran e sua disputa com Mendeleev é abordada por Sam Kean no capítulo três do livro, mas não iremos analisar esse trecho.

Esse olhar para a história nos lembra que estavam faltando muitos “tijolos” na “parede” da tabela periódica de Mendeleev. Essa ausência, aliada às previsões feitas por Mendeleev e à noção de uma lei que coordenava a localização desses “tijolos” na parede, ao invés de provocar o seu desmoronamento, impulsionou a sua construção.

Trazemos agora outro ponto de destaque da tabela periódica proposta por Mendeleev. Precisamos lembrar que esse cientista organizou os elementos em ordem crescente de peso atômico, mas com algumas ressalvas. Assim, embora fosse considerado na época que o telúrio tinha um peso atômico de 128 e o elemento iodo, 127, Mendeleev (e outros cientistas antes dele) propôs a inversão da posição desses elementos. Tal inversão foi realizada porque considerava que o telúrio era mais semelhante aos elementos do grupo VI, enquanto o iodo se assemelha mais ao grupo VII (SCERRI, 2007). Essa inversão aparece circulada na

Figura 19, acima. Ela é apontada por Kean, mas não é apresentada a justificativa de Mendeleev.

Cabe ressaltar que Mendeleev argumentou que o peso atômico do elemento telúrio deveria ser menor do que o peso atômico do iodo. Assim, a ordenação em função do peso atômico continuaria sendo respeitada. Entretanto, essa previsão não se confirmou. Destacamos que essa questão só foi resolvida em 1913, quando Henry Moseley mostrou que os elementos deveriam ser ordenados em função do número atômico. Dessa forma, como o telúrio possui número atômico 52 e o iodo, 53, o telúrio está em uma posição anterior ao iodo, embora tenha uma massa atômica maior. Nesse momento, a partir da proposta de Moseley, observamos que houve uma mudança nos critérios de organização, algo interno à tabela periódica (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Podemos dizer que as modificações apontadas acima contraexemplificam a fala de Kean: “O castelo é feito de “tijolos”, e a primeira coisa não óbvia a respeito é que os tijolos não são intercambiáveis. [...] e o castelo inteiro desmoronaria se esses tijolos não estivessem exatamente onde estão.” (KEAN, 2011, p. 16). Nesses casos, os cientistas determinaram que um dos elementos poderia caber numa caixa diferente ou que dois elementos poderiam trocar de lugar. Assim, ao longo da construção da tabela periódica, ajustes foram feitos na ordenação dos elementos a fim de se respeitar as suas propriedades. Nesse caso, o edifício da tabela periódica não desmoronou, mas, sim, avançou em sua construção. Ainda hoje ocorrem disputas e controvérsias sobre a posição dos elementos na tabela periódica, como no caso de lantânio, actínio, lutécio e laurêncio, discutido no artigo de Labarca, Quintanilla-Gatica e Izquierdo-Aymerich (2022), apresentado na revisão de literatura.

Desta forma, a metáfora castelo / tabela periódica permite ao leitor construir múltiplos sentidos, a partir das diferentes formações discursivas em que suas memórias se inscrevem. Embora um sentido tenha sido privilegiado, outros escapam ao texto, pois

a leitura “é uma questão de natureza, de condições, de modos de relação, de trabalho, de produção de sentidos, em uma palavra: de historicidade” (ORLANDI, 2012b, p. 10).

Retomando a leitura do capítulo um do livro, o autor prossegue caracterizando os diferentes tijolos do castelo:

Setenta e cinco por cento dos tijolos são metais, o que significa que a maior parte dos elementos tem a forma de sólidos frios e cinzentos, pelo menos nas temperaturas a que os seres humanos estão acostumados. Algumas poucas colunas do lado oriental contêm gases. Apenas dois elementos, o mercúrio e o bromo, são líquidos à temperatura ambiente. Entre os metais e os gases, mais ou menos onde fica Kentucky no mapa dos Estados Unidos, encontram-se alguns elementos difíceis de definir, cuja natureza amorfa lhes confere propriedades interessantes, como a capacidade de formar ácidos bilhões de vezes mais fortes que qualquer coisa trancada em qualquer depósito de substâncias químicas (KEAN, 2011, p. 17).

Assim, o autor apresenta uma divisão dos elementos em metais, semimetais e não metais, apontando para as características macroscópicas de cada grupo, as quais estão relacionadas à posição do elemento. Desta forma, Kean traz a indicação de um princípio de organização dos elementos, embora ainda não explicitando sua relação com a estrutura interna dos átomos, aspecto apresentado pelo autor na sequência do texto.

### 5.1.2.3 O “mapa” dos elementos de Seaborg

Em seguida, Sam Kean parte para a terceira metáfora que iremos abordar neste trabalho. Desta vez compara a tabela periódica a um mapa e suas coordenadas.

A razão para nos determos na planta das muralhas do castelo é que as coordenadas de um elemento determinam quase tudo cientificamente interessante sobre ele. Para cada elemento, sua geografia é o seu destino. Aliás, agora que você tem uma noção do significado do formato geral da tabela, posso utilizar uma metáfora mais útil: a tabela periódica é uma espécie de mapa. E para apresentá-lo com mais detalhe, vou analisar esse mapa do leste para o oeste, passando por elementos bem conhecidos e por outros mais exóticos. (KEAN, 2011, p. 17).

Quando pensamos em um mapa, uma das imagens que vêm à mente é a do mapa do Brasil, do mapa do mundo, de uma cidade, entre outros. Nesse sentido, esse objeto pode ser compreendido como a representação gráfica de uma região geográfica, em uma escala reduzida. Pode trazer informações sobre a divisão política das regiões, o relevo, o clima, os biomas, os astros, entre outros, o que varia de acordo com a finalidade para a qual foi produzido. A mesma palavra pode remeter a memórias relacionadas a um mapa astral, com previsões para o futuro de uma pessoa. Também pode trazer à mente a imagem de um mapa mental, muito utilizado por estudantes para organizar informações e auxiliar

nos estudos. A mesma palavra também aparece em expressões populares como: achar o mapa da mina ou sumir do mapa.

Partiremos aqui de sentidos construídos a partir do mapa cartográfico, que é uma representação da superfície da terra em um plano, ou seja, uma representação da realidade. De forma semelhante, podemos pensar a tabela periódica como uma representação dos elementos que compõem o universo. Construindo essa metáfora, o autor traz outros termos relacionados à cartografia: coordenadas, projeção de Mercator, direção leste e oeste, e aponta as coordenadas dos elementos como uma característica determinante.

Retomando o mapa cartográfico, as coordenadas geográficas de um ponto representam a interseção entre os valores de latitude e longitude naquele local. Transferindo essas noções à tabela periódica, os valores de latitude podem estar associados às linhas horizontais da tabela, chamadas de período, e os valores de longitude às colunas verticais, também chamadas de grupos ou famílias. Ao cruzarmos esses valores, temos determinada a posição do elemento na tabela. Essa determinação da posição dos elementos pode ser explorada em jogos didáticos do tipo “Batalha Naval”, como o desenvolvido por Assunção et al. (2018), e relatado na revisão de literatura desta tese.

A posição dos elementos está relacionada à sua configuração eletrônica, como abordamos no capítulo um desta tese. Quando tomamos o elemento sódio, número atômico 11, por exemplo, com distribuição eletrônica  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ , como sua camada mais externa, ou camada de valência, é  $3s^1$ , temos que ele está localizado no terceiro período, família 1. Assim, como destacado por Atkins e Jones (2018), a organização da tabela periódica é compreendida hoje em termos da configuração eletrônica dos elementos. Retomando a metáfora de Sam Kean, a distribuição eletrônica fornece as “coordenadas” para localização dos elementos no “mapa” da tabela periódica.

Para abordarmos a importância da distribuição eletrônica na tabela periódica, trazemos o episódio da síntese dos elementos transurânicos. Como relatado no capítulo um desta tese, Seaborg foi um dos cientistas que trabalhou na síntese e na localização desses elementos na tabela periódica. No capítulo sete, “Ampliando a tabela, expandindo a Guerra Fria”, Sam Kean narra a síntese desses elementos, e apresenta parte do contexto em que ocorreu. Logo no início do capítulo, Seaborg é apresentado aos leitores:

Consta que Glenn Seaborg teria o mais longo verbete do *Who's Who* de todos os tempos. Ilustre diretor em Berkeley. Químico ganhador do Prêmio Nobel. Cofundador da liga esportiva Pac-10. Consultor dos presidentes Kennedy,

Johnson, Nixon, Carter, Reagan e Bush (George H.W.) em energia atômica e em corrida armamentista nuclear. Chefe de equipe do Projeto Manhattan. Etc. etc. (KEAN, 2011, p. 115).

Pela descrição feita por Kean, notamos que Seaborg gozava de grande prestígio tanto no meio acadêmico, como diretor da Universidade de Berkeley e ganhador do Prêmio Nobel, quanto no meio político, como consultor de presidentes norte-americanos. Também destacamos a posição de chefia do Projeto Manhattan, onde começou a atuar no ano de 1942. Nas palavras de Kean (2011, p. 116): “Alçado de repente ao estrelato, em 1942, Seaborg foi convocado para ir a Chicago para trabalhar numa subsidiária do Projeto Manhattan.” O que foi esse Projeto, e como ele funcionava, é abordado por Kean no capítulo seis “Fazendo átomos, quebrando átomos”.

Após a Guerra, Seaborg retornou à Universidade de Berkeley, onde trabalhou com a síntese de elementos transurânicos por meio das reações nucleares. Entre 1940 e 1963, os elementos de número atômico 93 a 103 foram sintetizados, acrescentando onze novos elementos à tabela periódica (SEABORG, 1969). Entretanto, um problema que se colocava para os cientistas era a localização destes elementos na tabela periódica, aspecto que não é discutido por Sam Kean. Sam Kean narra a síntese desses elementos, apresentando procedimentos para a obtenção e purificação, curiosidades sobre os nomes, entre outros. Também destaca a interação de Seaborg com o público em geral, por meio da participação em jornais e programas de rádio.

Em 1940, os elementos netúnio (93) e plutônio (94) foram obtidos em laboratório por meio de reações nucleares, mas até 1944 o local que eles ocupariam na tabela não estava definido. Até então, os elementos actínio, tório, protactínio e urânio ocupavam os espaços do 7º período, após frâncio e rádio, como apresentado na Figura 16. Para a localização de netúnio e plutônio, a hipótese era de que haveria uma segunda série de 14 elementos, semelhante aos lantanídeos, iniciando com o urânio, seguida de netúnio e plutônio, como apresentado na

Figura 20, abaixo (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Figura 20: Proposta de organização dos elementos transurânicos em 1944.



distribuição eletrônica forneceu a Seaborg as coordenadas para a localização dos elementos na tabela periódica. Estas, por sua vez, são “a ‘chave’ para a descoberta de novos elementos [...]” (SEABORG, 1969, p. 21), visto que a semelhança com os elementos vizinhos permite prever suas propriedades químicas e, a partir destas, planejar métodos para o isolamento de novos elementos, como ocorreu com os de número atômico 95 e 96.

Esse olhar para o passado em busca de sentidos possíveis para a metáfora mapa / tabela periódica, nos mostra mais uma etapa na sua construção, dessa vez a partir da síntese dos elementos transurânicos. A localização desses elementos no “mapa” da tabela encontrou sustentação na distribuição eletrônica. A partir desta, foi possível definir características esperadas para os elementos, possibilitando, também, o desenvolvimento de novos experimentos para síntese de elementos semelhantes.

Retomando o trecho de Sam Kean apresentado no início desta seção, vemos que ele termina com a seguinte frase: “E para apresentá-lo com mais detalhe, vou analisar esse mapa do leste para o oeste, passando por elementos bem conhecidos e por outros mais exóticos” (KEAN, 2011, p. 17). Em seguida, o autor passa a caracterizar e contar histórias sobre alguns grupos de elementos da tabela periódica. Inicialmente, Kean discorre sobre os gases nobres, passando pelos halogênios, metais alcalinos e metais de transição. Desta vez, o autor relaciona as propriedades dos elementos à sua estrutura interna, apresentando ao leitor as partículas subatômicas, os níveis e subníveis energéticos e, por fim, relacionando a distribuição eletrônica ao formato da tabela periódica.

Trouxemos até o momento alguns sentidos possíveis para as metáforas catálogo, castelo e mapa utilizadas por Sam Kean. Ao usar as metáforas, Sam Kean não traz as mesmas discussões que trouxemos neste trabalho, mas o texto permite estabelecer relações intertextuais com a história da tabela periódica e o comportamento dos elementos. Assim, nos ancoramos nas propostas de Lavoisier, Mendeleev e Seaborg, estabelecendo diálogos entre as discussões realizadas por Sam Kean e o trabalho desses cientistas. Também buscamos discutir a partir dos trechos selecionados a noção de elemento químico e a importância do estabelecimento de critérios para a construção da tabela, sejam estes de natureza empírica, como em Lavoisier, ou teórica, como em Mendeleev, Moseley e Seaborg.

Ao retomarmos esses três episódios históricos da construção da tabela periódica, observamos como os conhecimentos científicos não são definitivos, mas são construídos ao longo do tempo. Da mesma forma que as trocas de lugar, a inserção de novos elementos

na tabela periódica e a mudança dos critérios de organização ocorreram no passado, ainda hoje são possíveis de ocorrer novas atualizações. Observamos, portanto, que ela foi construída ao longo do tempo, e o seu formato e princípio de organização ora foram modificados ora foram mantidos, à medida em que novos conhecimentos foram construídos, assumindo tamanhos e aspectos diferentes.

Destacamos que, ainda hoje, a tabela periódica, da forma como costumamos encontrar em livros didáticos de Química, é somente uma das possibilidades.

Mas quem disse que esse é o formato ideal? O formato em colunas tem prevalecido desde os tempos de Mendeleiev, mas o próprio Mendeleiev desenhou trinta tabelas diferentes, e nos anos 1970 os cientistas já tinha chegado a mais de setecentas variações. (KEAN, 2011, p. 322).

Rouvray (2015) destaca a existência de uma grande quantidade de formatos para a tabela: hélice, cone, cilindro, conjunto de quadrados, círculos concêntricos, figuras de oito etc. O autor ressalta que nenhum desses pode ser tido como superior aos outros, pois foram construídos segundo diferentes critérios e em momentos históricos diferentes.

Nos preocupamos nas análises, em buscar os critérios para a organização da tabela periódica, a partir dessas mesmas metáforas. Na metáfora do catálogo, Sam Kean deixa em aberto os critérios de organização, os quais relacionamos com os critérios empíricos observados por Lavoisier. Em seguida, na metáfora do castelo, Kean traz uma organização dos elementos em termos de metais e não metais. Porém, ao deslizarmos para a tabela de Mendeleev, trouxemos o critério do peso atômico e, posteriormente, do número atômico, proposto por Moseley. Por fim, na metáfora do mapa, o autor relaciona os grupos de elementos à sua distribuição eletrônica, aprofundando a discussão e trazendo-a para o nível da estrutura interna dos átomos. Assim, à medida que caminhamos nessas propostas de organização dos elementos, avançamos também no entendimento de como se dá essa construção, partindo de aspectos macroscópicos até chegar à composição da matéria.

Ressaltamos mais uma vez que os sentidos que trouxemos não são únicos, ou corretos, ou, ainda, aqueles pensados por Sam Kean, mas são sentidos possíveis. Nisto está a incompletude do texto: embora seja uma unidade completa, com começo, meio e fim, todo texto é por natureza incompleto, ou seja, “[...] o que caracteriza qualquer discurso é a multiplicidade de sentidos” (ORLANDI, 1987, p. 194). Os múltiplos sentidos derivam da relação com as condições de produção, com os implícitos, com o diálogo com outros textos, que neste trabalho nos permitiram entrelaçamentos com a história e

propriedades da tabela periódica.

### 5.1.3 PRODUÇÃO DA QUÍMICA ENQUANTO CIÊNCIA

Trouxemos até o momento alguns sentidos possíveis sobre a tabela periódica a partir da leitura da Introdução, capítulos um, três e sete do livro de Sam Kean: “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos”. Como discutido anteriormente, ao veicular conteúdos de Ciência, a DC também divulga uma imagem sobre a Ciência o que pode ocorrer sem a devida preocupação, transmitindo uma imagem linear, cumulativa, anacrônica. Desta forma, torna-se importante a análise destes materiais, buscando compreender os sentidos que emergem sobre a Ciência (LORENZETTI; RAICIK; DAMASIO, 2022).

Nesta seção, iremos discutir algumas imagens sobre a natureza da Química presente em trechos apresentados nas discussões anteriores e no capítulo três e seis da obra. Fizemos esse recorte no *corpus* de análise, pois no capítulo três Sam Kean traz de maneira específica a construção da tabela periódica até Mendeleev e no capítulo seis aborda algumas atualizações posteriores. Assim, selecionamos para a análise trechos que servem como exemplo e contraexemplo para as características da Ciência destacadas por Peduzzi e Raicik (2020), Pérez et al. (2001) e Kosminsky e Giordan (2002).

#### 5.1.3.1 Os cientistas

Como intentamos mostrar no capítulo um desta tese, embora a tabela periódica seja, por vezes, tratada como fruto do trabalho de Dimitri Mendeleev, vários cientistas contribuíram para a sua elaboração. Sua história se mistura ao desenvolvimento da ideia de elemento químico e à própria história de identificação desses elementos. A partir do momento que os elementos foram isolados e suas propriedades exploradas, tem-se a observação de semelhanças e diferenças entre eles e a possibilidade de agrupá-los segundo suas características. Nesse caminho, a década de 1860 foi muito frutífera para a elaboração de uma lei periódica e sua representação gráfica no formato de uma tabela, embora as tabelas propostas nesse período ainda estivessem muito distantes do que temos hoje.

Esse percurso de construção da tabela periódica é em grande parte narrado no capítulo três do livro “A colher que desaparece: E outras histórias de amor e morte dos

elementos químicos”, motivo pelo qual o trazemos para a análise. O capítulo tem início com a frase: “Pode-se dizer que a história da tabela periódica é a história dos muitos personagens que a moldaram” (KEAN, 2011, p. 49). Assim, o leitor já é avisado no início do capítulo que a tabela periódica não é obra de somente um químico. Continuando a leitura, um pouco mais adiante, a participação de outros cientistas é reforçada pelo autor.

Verdade seja dita, [...] Mendeleiev não criou a primeira tabela periódica sozinho. Seis pessoas inventaram-na de forma independente, e todas trabalharam a partir das ‘afinidades químicas’ observadas pela primeira geração de químicos (KEAN, 2011, p. 51, grifos nossos).

Antes de nos debruçarmos nos seis cientistas citados, destacamos os termos utilizados pelo autor para se referir à construção da tabela periódica: criar e inventar. Esses verbos podem produzir o sentido de ser a origem, de gerar algo novo a partir do nada, de ser o primeiro a ter uma ideia. Entretanto, a Ciência é produzida a partir das contribuições anteriores, dos confrontos entre teorias e das controvérsias, em um processo de constante remodelamento (PÉREZ et al., 2001). Como abordado por Peduzzi e Raicik (2020) o conhecimento não surge do nada, mas está cercado por um campo maior de ideias, que guiam os passos do cientista, sendo fundamental conhecer os trabalhos anteriores.

A contribuição dos conhecimentos anteriores é citada na sequência do texto, quando Sam Kean se refere aos trabalhos sobre afinidade química de uma geração anterior de cientistas. Como representante dessa geração anterior, Kean traz no capítulo 14 as tríades de elementos estudadas por Döbereiner, que são apontadas pelo autor como pilares para a tabela periódica. Assim, embora o autor utilize os termos criar e inventar em referência ao trabalho de Mendeleev, ele também aponta para contribuições de outros cientistas. Dessa forma, abre-se espaço para uma discussão sobre o processo de construção do conhecimento relativo à tabela periódica.

Retomando o trecho em destaque, o autor aponta a contribuição de seis cientistas para a construção da tabela periódica. Em uma nota ao final do livro, o autor explicita seus nomes: Dimitri Mendeleev, John Newlands, Julius Lothar Meyer, Alexandre de Chancourtois, Willian Odling e Gustavus Hinrichs. No capítulo um desta tese, apontamos propostas desses cientistas para a construção da tabela.

A fim de conhecermos os sentidos atribuídos à contribuição de cada um para a elaboração da tabela periódica, partimos para a descrição que o autor faz sobre eles. Inicialmente, destacamos que os nomes de Alexandre de Chancourtois, Willian Odling e

Gustavus Hinrichs não são citados no corpo do texto, mas em uma nota ao final do livro. Sobre as notas, Orlandi (1990) as compreende como uma parte de menor importância, que talvez nem sejam lidas, ou o sejam somente por aquele leitor interessado em mais detalhes. Assim, a leitura da nota foge ao texto, apresentando-se como um suplemento, e exibindo um discurso paralelo. Ao mesmo tempo, as notas apontam para a incompletude do texto, pois trazem outras leituras possíveis, mas que são colocadas à margem. Desta forma, segundo a autora, produzem efeitos de sentidos que têm o poder de “explicar uma (outra) cultura e ao mesmo tempo silenciar certos sentidos, ou melhor, de não permitir que o texto signifique (como poderia) de outro modo” (ORLANDI, 1990, p. 117).

Considerando a perspectiva discutida por Orlandi, embora o texto indique seis cientistas que trabalharam na construção da tabela periódica, três desses nomes são colocados à margem. Incompletude que significa, pois coloca como suplementar ao texto a contribuição desses cientistas, o que pode produzir sentidos que privilegiam algumas propostas em detrimento de outras. Cabe destacar que certamente muitos outros cientistas, além dos seis que citamos, contribuíram para a construção da tabela periódica.

As propostas dos outros três cientistas, Dimitri Mendeleev, John Newlands e Julius Lothar Meyer, são apontadas no capítulo em análise. Destacamos as expressões utilizadas por Sam Kean para caracterizar os cientistas e as suas propostas de organização dos elementos, as quais são apresentadas no Quadro 4, abaixo.

Quadro 4: Expressões utilizadas para caracterização de cientistas na obra “A colher que desaparece”.

<b>Cientistas</b>	<b>Expressões</b>
Dimitri Mendeleev	“o homem aclamado pela criação da primeira tabela periódica” (p. 51). “transformou esses esboços de sistema periódico numa lei científica” (p. 51). “A ciência precisa de heróis” (p. 51). “protagonista da história da tabela periódica” (p. 51). “sua incrível biografia” (p. 51). “um estudante brilhante” (p. 52). “meio rabugento, um sujeito esquisito” (p. 53).
John Newlands	“um químico de trinta e poucos anos” (p. 52). “suposta tabela” (p. 52). “uma forma um tanto excêntrica” (p. 52). “proposta mambembe” (p. 52).
Julius Meyer	“O mais sério rival de Mendeleiev” (p. 52). “um químico alemão com uma barba branca desganhada e cabelos negros emplastrados” (p. 52). “tinha credenciais profissionais de peso” (p. 52). “Se você observasse os dois homens por volta de 1880 e tentasse julgar

qual era o grande químico teórico, provavelmente escolheria Meyer.”  
(p. 53)

Fonte: elaboração própria.

Newlands é descrito por Sam Kean como “um químico” que produziu uma “suposta tabela”, “excêntrica” e “mambembe”. Ao referir-se a ela como “suposta tabela” o autor deixa dúvidas sobre ela ser realmente uma tabela, trazendo uma imagem de algo fictício, desqualificando-a. Ao mesmo tempo, os termos “excêntrico” e “mambembe”, apontam para algo extravagante e de baixo valor. Como mostramos no capítulo um desta tese, a tabela de Newlands foi recusada pela *Royal Society*, inicialmente. Entretanto, é importante destacar que, em 1887, essa proposta foi reconhecida pela mesma instituição, que concedeu a Newlands a Medalha Davy. Essa informação também é apresentada no livro por Kean, mas no parágrafo seguinte e entre parênteses, o que pode indicar uma informação acessória ao texto.

Sobre a motivação para a recusa da proposta de Newlands, Kean aponta:

De uma forma um tanto excêntrica, Newlands comparou as sete colunas com o dó ré mi fá sol lá si da escala musical. Infelizmente, a plateia da Chemical Society of London não tinha nada de excêntrica e ridicularizou a proposta mambembe de Newlands. (KEAN, 2011, p. 52).

Como já discutido anteriormente, Newlands foi criticado em tom vexatório por sua proposta, mas houve também críticas ao fato de não haver lacunas para elementos ainda desconhecidos (SCERRI, 2007). Kean destaca a comparação da proposta com a escala musical, ou seja, um fator pessoal que serviu de inspiração para Newlands. Nesse sentido, Peduzzi e Raicik (2020) salientam que, embora tenham ocorrido tentativas de um Ciência separada dos aspectos subjetivos, essa distinção não acontece. Isso decorre do próprio fato da Ciência ser desenvolvida por seres humanos imersos em uma sociedade, com culturas, princípios e valores próprios, os quais influenciam o agir do cientista.

Com relação a Meyer, o autor o aponta como “o mais sério rival de Mendeleiev” e um químico com “credenciais profissionais de peso”. E, quando se refere a Meyer como “o grande químico teórico”, isso é colocado como uma possibilidade para o leitor, indicado pelo modo subjuntivo dos verbos e reforçado pelo termo “provavelmente”, como no trecho: “Se você observasse os dois homens por volta de 1880 e tentasse julgar qual era o grande químico teórico, provavelmente escolheria Meyer.” (KEAN, 2011, p. 53). Entretanto, o autor destaca que a publicação da tabela periódica de Meyer ocorreu na mesma época que a de Mendeleev, e os dois cientistas dividiram o prêmio da Medalha Davy por esse trabalho, em 1882.

Com relação à premiação recebida tanto por Newlands, em 1887, quanto por Meyer e Mendeleev, em 1882, destacamos o tempo decorrido entre a publicação da tabela periódica e o reconhecimento pela comunidade científica. Retomando as discussões apresentadas no capítulo um desta tese, vemos que Newlands publicou a sua primeira tabela periódica em 1863, Meyer realizou sua primeira proposta em 1864, e Mendeleev, em 1869. Ao longo dos anos seguintes, esses cientistas continuaram trabalhando sobre suas tabelas e propondo novas alterações e rearranjos. Da proposta à premiação, passou mais de uma década.

Em trabalho realizado por Kosminsky e Giordan (2002), os autores apontam como uma visão equivocada de estudantes do Ensino Médio sobre a Ciência a rapidez com que ocorre a “descoberta” científica e o reconhecimento pela sociedade. Entretanto, observando as trajetórias de Newlands, Meyer e Mendeleev, notamos como esse processo é lento, exige trabalho e requer a negociação e avaliação pelos seus pares.

Sobre esse ponto, Peduzzi e Raicik (2020) apontam que as publicações científicas ocorrem dentro de linhas de pesquisa previamente definidas pela comunidade científica e a partir da avaliação por pares. O processo de avaliação envolve tanto fatores objetivos, inerentes à teoria em jogo, quanto subjetivos, como crenças e valores em voga na comunidade científica, a qual também atende a interesses diversos e, por vezes, externos à Ciência, como os financiamentos e as políticas públicas e científicas da época. Assim, o que confere legitimidade à Ciência é a publicidade e a avaliação pela comunidade científica, o que não ocorre de forma rápida.

Passando às referências feitas por Sam Kean à Mendeleev, este é apontado como “aclamado pela criação da primeira tabela periódica”, um “herói” e “protagonista” dessa história. Tais termos são apontados por Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022) como apelativos e demandam uma reflexão crítica, pois não condizem com o entendimento que se tem sobre a Ciência e os cientistas. Segundo o autor, o sucesso de Mendeleev ocorreu também devido à sua “incrível biografia”, apresentada em parte a seguir.

Nascido na Sibéria, filho mais novo de catorze irmãos, Mendeleev tinha treze anos em 1847, quando perdeu o pai. Corajosa para sua época, sua mãe assumiu uma fábrica de vidro local para sustentar a família e conseguiu que artesãos homens trabalhassem ali. Mas a fábrica pegou fogo. Depositando suas esperanças na inteligência do filho, ela o despachou na sela de um cavalo por quase 2 mil quilômetros através das estepes íngremes e cobertas de neve dos montes Urais para chegar a uma universidade de elite em Moscou – que rejeitou Mendeleev por ele não ser natural da região. Inabalável, mãe Mendeleev botou o filho a cavalo de novo e viajou mais 650 quilômetros até a universidade onde seu pai havia estudado, em São Petersburgo. Assim que o viu matriculado, ela morreu (KEAN, 2011, p. 51).

O autor prossegue sua narrativa apontando para o brilhantismo do estudante Mendeleev que, após a sua formatura, foi estudar em Paris, sendo orientado por Bunsen e, por volta de 1860, retornou para São Petersburgo como professor, onde publicou sua primeira versão da tabela periódica. Assim, essa narrativa traça uma trajetória de superação de Mendeleev, atravessada por dificuldades familiares e rejeição, mas coroada com a publicação da tabela periódica.

Após estudar mitologias de diferentes culturas e épocas, Joseph Campbell propõe que as histórias, heróis e heroínas são na verdade variações de um único arquétipo. Para o autor, o “herói” seria o homem ou mulher que superou as limitações pessoais, aperfeiçoou-se e realizou ações que ultrapassam a esfera comum. Segundo Campbell essa fórmula do “herói” aparece em diferentes mitos por todo o mundo, em diferentes períodos da história, inclusive nas histórias modernas, sendo denominada monomito (CAMPBELL, 2004).

Em linhas gerais, a “jornada do herói” proposta por Campbell é dividida em três fases: separação, iniciação e retorno.

Um herói vindo do mundo cotidiano se aventura numa região de prodígios sobrenaturais; ali encontra fabulosas forças e obtém uma vitória decisiva; o herói retorna de sua misteriosa aventura com o poder de trazer benefícios aos seus semelhantes (CAMPBELL, 2004, p. 36).

Assim, o chamado “herói” se afasta do mundo cotidiano, seja por vontade própria, forçado ou após um momento de crise. Ao iniciar sua jornada, o “herói” conta com a ajuda de uma figura protetora, normalmente um ancião ou anciã, responsável por guiá-lo em sua trajetória cercada de perigos e provações que precisa enfrentar para forjar sua nova forma. Terminado o período de formação, o “herói” retorna para realizar sua tarefa transformadora da comunidade local ou de todo o mundo (CAMPBELL, 2004).

Observando a “jornada do herói” proposta por Campbell, podemos traçar paralelos com a narrativa sobre a biografia de Mendeleev escrita por Sam Kean. Inicialmente, Mendeleev passa por um momento de dificuldade com o falecimento do pai e a perda do sustento da família. Sua mãe o inicia na busca pelo conhecimento, enviando-o para Moscou onde, rejeitado pela universidade, passa por mais uma provação. Em seguida, é aceito em outra universidade, onde se destaca por seu brilhantismo. A jornada continua com a ida para Paris e a orientação de Bunsen. Em seguida, ocorre o retorno de Mendeleev, sua contribuição para a comunidade acadêmica, com a publicação da tabela periódica, e a premiação com a Medalha Davy, em 1882.

Dessa forma, a trajetória de Mendeleev da forma como narrada por Sam Kean pode levar à construção do monomito, colocando o cientista como um “herói” para a tabela periódica, aspecto apontado pelo autor: “A ciência precisa de heróis [...]” (KEAN, 2011, p. 51). Tal construção, associada ao silenciamento de alguns cientistas e a forma superficial como os demais são mencionados, podem produzir sentidos que colocam Mendeleev em evidência como o “pai” da tabela periódica, desconsiderando as contribuições de outros cientistas.

Por meio da revisão de literatura, observamos que essa imagem do “pai” da tabela periódica também aparece no ensino deste conteúdo, fruto de uma abordagem dissociada de aspectos históricos (CUNHA; PERES; STANZANI, 2014; ZERGER; MELO; LUCA, 2016). Também é encontrada nos livros didáticos que, por vezes, reforçam a ideia de “pai” da tabela e silenciam ou apresentam de forma limitada outros trabalhos (BARRETO et al., 2016; TARGINO; BALDINATO, 2016). Uma abordagem semelhante também foi identificada por Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022) na análise de um livro de divulgação científica. Segundo os autores, a imagem de cientistas com capacidades sobre-humanas desconsidera que eles são pessoas comuns, que se cansam, se frustram e apresentam necessidades inerentemente humanas.

Uma das visões equivocadas de Ciência apontada por Pérez et al. (2001) é a imagem do cientista gênio, que trabalha isolado da comunidade científica, na qual não se evidencia a Ciência como construção humana, passível de erros e remodelações. Essa visão foi observada por Kosminsky e Giordan (2002) em uma pesquisa realizada com estudantes do Ensino Médio, na qual eles deveriam desenhar as ações de um cientista em diferentes dias da semana (segunda-feira, quinta-feira e domingo) e horários (10:00, 16:00 e 23:00). Os autores destacam que em todas as representações os cientistas estão sozinhos, seja em um laboratório ou fora dele. Assim, não há menção à comunidade científica, como um local de troca e validação de conhecimentos, e nem às relações sociais estabelecidas fora do mundo do trabalho.

Entretanto, é preciso compreender a Ciência como uma produção coletiva, ou seja, as pesquisas ocorrem dentro de linhas de investigação já delimitadas por uma equipe maior de cientistas, os quais trabalham em conjunto. Além disso, uma pesquisa não parte do zero, mas tem início nas sínteses, remodelações e questionamentos às contribuições anteriores. Assim, compreender o caráter coletivo do desenvolvimento científico possibilita desfazer a imagem do “herói” da Ciência e ampliar os horizontes de possibilidades para os sujeitos (PÉREZ et al., 2001).

Podemos encontrar indicações sobre o caráter coletivo da Ciência no capítulo três de “A colher que desaparece”. Logo no início do capítulo, o autor aponta Robert Bunsen como o pioneiro da tabela periódica por dois motivos. O primeiro deles, o desenvolvimento da espectroscopia atômica (abordada brevemente no capítulo um desta tese), um trabalho conjunto com o físico Gustav Kirchhoff, que permitiu a identificação de novos elementos e contribuiu para a compreensão da estrutura da matéria. Assim, tem-se o desenvolvimento de uma técnica e de instrumentos para o estudo dos elementos contribuindo para a construção do conhecimento relativo à estrutura da matéria e, conseqüentemente, influenciando na elaboração da tabela periódica.

O segundo motivo apontado é a “[...] sua contribuição para a formação de uma dinastia intelectual científica em Heidelberg, onde ensinou muita gente responsável pelos primeiros trabalhos na busca de uma lei periódica.” (KEAN, 2011, p. 51). Embora o autor tenha se referido aos cientistas como uma dinastia, contribuindo para a ideia de soberanos intelectuais, destacamos nesse trecho a contribuição de Bunsen para a formação de outros cientistas. Como abordamos no capítulo um deste trabalho, Meyer e Mendeleev trabalharam no laboratório de Bunsen. Desse modo, o trecho citado acima aponta para a existência de linhas e grupos de pesquisa que guiam os trabalhos dos pesquisadores. Como ressaltado por Pérez et al. (2001), não se pode pensar em cientistas trabalhando de forma autônoma e isolada, visto que eles estão inseridos em uma equipe de trabalho e sua pesquisa responde a uma linha de investigação já estabelecida.

Como discutido no capítulo um, algo muito importante para a construção da tabela periódica foi a realização do Congresso de Karlsruhe, em 1860. Esse evento reuniu 129 químicos, de 12 países, dentre eles Mendeleev e Meyer. Dentre as contribuições desse evento está a publicação de uma lista de pesos atômicos, proposta por Stanislao Cannizzaro, a ascensão da teoria de valência dos elementos e as definições de átomo e molécula, apontadas pelo próprio Mendeleev como fundamentais para a proposição da lei periódica (OKI, 2009).

Assim, temos nesse evento um momento em que parte da comunidade de químicos da época se reuniu para discutir questões fundamentais dessa ciência, ressaltando o caráter coletivo do conhecimento científico. Apesar de sua importância e contribuição para a construção da tabela periódica, a ocorrência do Congresso de Karlsruhe não é citada por Sam Kean em sua obra. Tem-se assim, o silenciamento de aspectos fundamentais da Ciência: a existência de uma comunidade científica e da disputa entre diferentes teorias.

### 5.1.3.2 Idas e vindas na construção da tabela periódica

A visão da Ciência enquanto uma construção, e da tabela periódica como passível de modificações, é apontada por Kean em alguns trechos. No capítulo um da obra, por exemplo, o autor traz a seguinte consideração: “[...] até o momento, 112 elementos formam a tabela, e ainda faltam alguns” (KEAN, 2011, p. 16). Ao apontar que a tabela é composta por 112 elementos, o autor explicita por duas vezes a possibilidade de modificação, por meio do uso das expressões “até o momento” e “ainda faltam alguns”. É importante destacar que a primeira edição original do livro é do ano 2010, e a versão brasileira de 2011. Tomando a tabela periódica atual, observamos um total de 118 elementos, enquanto em 2010 eram 112. Assim, comparando esses dois momentos, notamos que em um curto período de tempo, e bem recente, a tabela foi atualizada a partir da inclusão desses novos elementos.

Tendo em vista esses momentos históricos de acréscimo de novos elementos à tabela periódica, trazemos um trecho do capítulo três da obra, quando Sam Kean aborda o acréscimo da família de gases nobres à tabela proposta por Mendeleev em 1869.

Além disso, quando os cientistas descobriram os gases nobres, nos anos 1890, a tabela de Mendeleev passou por um teste crucial, pois incorporou com facilidade os gases com o simples acréscimo de uma nova coluna. (Mendeleev a princípio negou a existência dos gases nobres, mas aí a tabela não era só mais dele.). (KEAN, 2011, p. 54).

Como abordamos no capítulo um desta tese, o primeiro gás nobre encontrado na Terra foi o elemento argônio, por William Ramsay e Lord Rayleigh, em 1894. Posteriormente, os elementos hélio, criptônio, neônio, xenônio e radônio foram também obtidos. Em 1900, Ramsey propôs que esta família de elementos deveria ser adicionada como a última coluna da tabela periódica. Apesar de, a princípio, Mendeleev não ter concordado com a existências desses elementos, em 1902 ele se colocou favorável a essa proposta.

Esse episódio trata de uma atualização que a tabela periódica sofreu em decorrência do isolamento de novos elementos. Um episódio semelhante foi discutido anteriormente, no qual abordamos a síntese dos elementos transurânicos e seu acréscimo à tabela periódica. Nesses dois casos, houve uma mudança no formato da tabela, mas manteve-se os princípios que organizam os elementos, permanecendo, portanto, uma lei periódica que estabelece a regularidade nas propriedades dos elementos.

Como abordamos no capítulo um desta tese, a proposta de Mendeleev agrupava

os elementos em ordem de peso atômico. Em 1913, a partir do estudo realizado por Henry Moseley sobre a emissão de raios X pelos átomos, foi estabelecido um novo critério para o ordenamento dos elementos na tabela periódica: o número atômico (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997). Essa importante modificação na tabela periódica é abordada no capítulo seis da obra “A colher que desaparece”, como demonstrado no trecho abaixo:

[...] Moseley vinculou o lugar de um elemento na tabela a uma característica física, equacionando a carga nuclear positiva com o número atômico. E fez isso com um experimento que qualquer um poderia repetir. Isso provou que a ordem dos elementos não era arbitrária, mas sim resultado de uma compreensão adequada da anatomia atômica. De repente, casos distorcidos como os do cobalto e do níquel passaram a fazer sentido, já que o níquel, mais leve, tinha mais prótons, e por isso uma carga positiva mais alta, e portanto tinha de vir depois do cobalto. (KEAN, 2011, p. 100).

Essa atualização na tabela periódica vai além da mudança no formato, uma vez que altera o critério de ordenamento dos elementos. Para além disso, reflete uma compreensão mais aprofundada sobre a estrutura da matéria. Ao mesmo tempo ela ratifica a existência de uma periodicidade nas propriedades dos elementos, visto que justifica as inversões de posições feitas anteriormente.

Assim, ao mesmo tempo que esses episódios nos apontam para o novo, há um dizer historicamente sedimentado, para o qual os sentidos não estão fixados e tampouco podem ser quaisquer uns.

Para alguns, o já-dito é fechamento de mundo. Porque estabelece, delimita, imobiliza. No entanto, também se pode pensar que aquilo que se diz, uma vez dito, vira coisa do mundo: ganha espessura, faz história. E a história traz em si a ambiguidade do que muda e do que permanece. (ORLANDI, 1987, p. 9).

Desta forma, podemos dizer que a lei periódica proposta por Mendeleev se tornou a matriz do sentido, sustentando o dizer. Ao mesmo tempo, ela virou coisa do mundo, se fez história e, por isso, sujeita ao novo. Desta forma, os sentidos associados à tabela periódica não podem ser quaisquer uns, pois têm uma sedimentação histórica. Mas também não estão fixados de forma imutável, pois, por serem históricos, estão sujeitos à mudança.

Retomando o trecho que apresentamos acima sobre a inserção dos gases nobres na tabela periódica, destacamos a seguinte frase: “Mendeleiev a princípio negou a existência dos gases nobres, mas aí a tabela não era só mais dele” (KEAN, 2011, p. 54). Nos chama a atenção a colocação do autor sobre a tabela não ser mais só de Mendeleev, o que está de acordo com a colocação de Peduzzi e Raicik (2020, p. 21) de que o conhecimento científico é “público (divulgado, transmitido, coletivo)”. Segundo estes

autores, o que confere legitimidade à Ciência é a sua divulgação e avaliação pela comunidade científica. É também por meio da difusão do conhecimento que se fomenta o seu próprio desenvolvimento, pois é a partir do que já existe que se fundamenta novas pesquisas.

Concordamos com Peduzzi e Raicik (2020, p. 29) quando os autores apontam que “as teorias científicas não são definitivas e irrevogáveis, mas sim objeto de constante revisão”. Desta forma, a mudança faz parte da Ciência, que se desenvolve a partir do conhecimento vigente, ora alargando-o ora transformando-o. E, nesse processo, conhecer as teorias vigentes é fundamental para o pesquisador, pois só assim é possível observar as lacunas existentes, fundamentar a pesquisa e propor novos caminhos (PEDUZZI; RAICIK, 2020).

Para Höttecke e Silva (2011), uma das características ainda presente no ensino de Física, e que podemos estender para a disciplina de Química, é a transmissão de verdades definitivas sobre os fenômenos da natureza, sem espaço para opiniões diferentes. Essa abordagem fortalece a ideia de uma Ciência pronta, sem espaço para discussões e para a criatividade. Entretanto, os autores destacam que o ensino de ciências deve proporcionar aos estudantes compreender a Ciência como um processo. Nesse caminho, os trechos apresentados neste trabalho podem contribuir para o debate.

Concordamos com Silva e Almeida (2005), que apontam os textos de divulgação científica como espaços onde circulam discursos sobre a Ciência. Para Almeida e Ricon (1993), eles podem possibilitar o acesso às descobertas e controvérsias da Ciência. Entretanto, como destacado Lorenzetti, Raicik e Damasio (2022) é preciso uma leitura crítica da DC uma vez que diferentes perspectivas podem ser adotadas, se afastando ou se aproximando daquilo que compreendemos como a atividade científica atualmente.

Nesse sentido, a partir das análises realizadas de trechos do livro “A colher que desaparece: E outras histórias de amor e morte dos elementos químicos”, observamos que ele apresenta possibilidades para uma discussão sobre a Ciência e os cientistas. Embora alguns sentidos equivocados sobre a Ciência e os cientistas possam ser inferidos na sua leitura, compreendemos que o texto pode potencializar as discussões em sala de aula e contribuir para um melhor entendimento sobre o empreendimento científico, a partir de uma leitura crítica sobre o mesmo.

## 5.2 LEITURAS DE MENDELEEV

Trazemos nesta seção alguns efeitos de sentidos possíveis sobre a tabela periódica e a sua construção, inferidos a partir da leitura da obra “*The periodic law of the Chemical elements*”, uma palestra proferida por Dimitri Mendeleev em 1889. Adicionamos ao Anexo 02 o texto original em inglês. Inicialmente, destacamos algumas características desse tipo textual. Em seguida, discutimos as asserções sobre a lei periódica proposta por Mendeleev e, por fim, os fatores apontados por Mendeleev como fundamentais para a sua proposta.

Assim, trazemos um material original do cientista russo Dimitri Mendeleev, escrito para uma palestra proferida para a Sociedade de Química da Grã-Bretanha e que, portanto, circulou dentro do ambiente acadêmico do final do século XIX. Uma das características deste tipo textual, apontada por Almeida e Sorpreso (2011), é a utilização de termos específicos da formação discursiva em que se inscreve, o que observamos ao longo de todo o texto. Mendeleev utiliza termos próprios da formação discursiva da Química: peso atômico, equivalente, valência, teoria unitária, parafuso telúrico, lei das oitavas, teoria das proporções múltiplas, entre outros. Importante destacar que Mendeleev não fornece definições para os conceitos e leis citados, o que provavelmente decorre do fato de ele se dirigir a químicos e que, portanto, deveriam dominar tais conceitos.

Zanotello (2011) destaca que nos originais de cientistas escritos em séculos passados, muitas vezes os autores lançam mão de um estilo narrativo de escrita, abordando os caminhos seguidos, as dúvidas e problemas que enfrentavam, valorizando os aspectos conceituais e metodológicos. Observamos essas marcas ao longo do texto quando, por exemplo, Mendeleev discute três fatores que permitiram chegar à lei periódica, os quais abordaremos adiante. Também apresenta limitações que precisavam ser resolvidas, como a questão da própria estrutura da matéria, como no trecho:

“A concepção primária das massas dos corpos, ou das massas dos átomos, pertence a uma categoria que o estado atual da ciência nos proíbe de discutir, porque ainda não temos meios de dissecar ou analisar sua concepção.”  
(MENDELÉEFF, 1897, p. 476, tradução nossa).

Ressaltamos ainda, que Mendeleev discute vários casos em que dados sobre as propriedades dos elementos foram ajustados a partir dos conhecimentos sobre a lei periódica. Concordamos com Souza e Almeida (2001) que apontam para as potencialidades dos textos originais de cientistas de evidenciar processos e falhas da Ciência, e aproximar os leitores dos cientistas.

Outro ponto que destacamos é a ausência da imagem da tabela periódica proposta por Mendeleev no texto utilizado, provavelmente por ser esse o material utilizado em uma

palestra. Entretanto, a consulta à tabela faz-se necessária para uma melhor compreensão das discussões apresentadas em alguns momentos do texto. Zanutello (2011) destaca a ausência de ilustrações e esquemas em textos originais de séculos anteriores como um fator que dificulta a leitura do mesmo. Assim, para melhor compreensão das propostas de Mendeleev, foi necessário buscar a tabela publicada em seu artigo de 1869<sup>15</sup> e apresentada na Figura 15. Trazemos a seguir alguns sentidos produzidos para a lei periódica a partir da leitura do texto “*The periodic law of the Chemical elements*”, de Dimitri Mendeleev.

### 5.2.1 A LEI PERIÓDICA

Em sua palestra, Mendeleev se propõe a olhar os caminhos percorridos para chegar à Lei Periódica e revisar as atualizações realizadas desde sua proposição, como apresentado abaixo:

[...] tomo a liberdade de revisar os 20 anos de vida de uma generalização que é conhecida pelo nome de Lei Periódica. Foi em março de 1869 que me aventurei a expor à então jovem Sociedade Química Russa as ideias sobre o mesmo assunto, que havia expressado em meu recém-escrito "Princípios de Química". (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa).

Como indica a fala de Mendeleev, sua primeira proposta de organização dos elementos surgiu quando escrevia o livro “*The Principles of Chemistry*”. Segundo Scerri (2002), Mendeleev havia escrito o primeiro volume de sua obra, no qual examinou diferentes tipos de elementos e compostos, principalmente aqueles formados por hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. Ao final, Mendeleev abordou os elementos conhecidos atualmente como metais alcalinos, alcalino terrosos e os halogênios. A grande dúvida que surgiu foi como organizar os próximos elementos no livro que estava escrevendo. Para resolver esta questão, Mendeleev começou a comparar os pesos atômicos de elementos de diferentes grupos, confrontando dois, três grupos entre si, até chegar em uma proposta que incluía a maioria dos elementos conhecidos

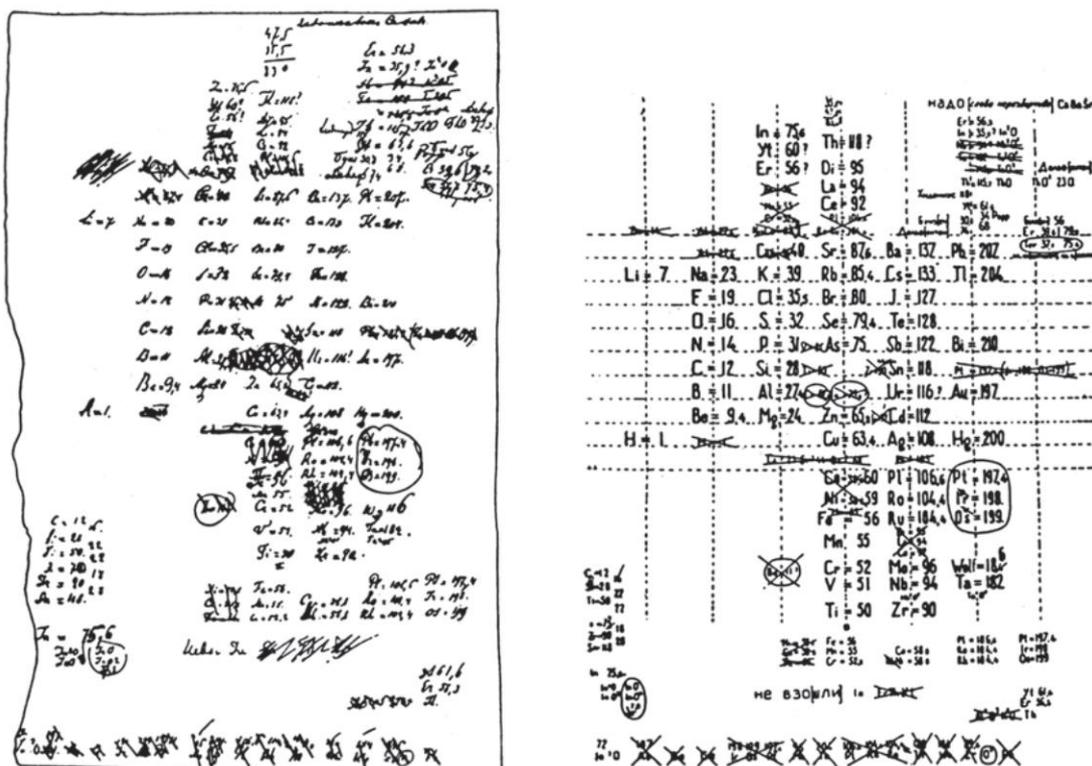
Segundo diferentes autores (BROOKS, 2002; SCERRI, 2007; SPRONSEN, 1969), esta primeira versão foi produzida no dia 17 de fevereiro de 1869, e seu manuscrito é apresentado na Figura 21, abaixo. Importante ressaltar que as imagens revelam parte do trabalho de Mendeleev: ele anota os símbolos e peso dos elementos, mas risca alguns,

---

<sup>15</sup> Mendelejeff, D. Zeitschrift für Chemie, v 12, p. 405-406, 1869. Disponível em: <https://opacplus.bsb-muenchen.de/Vta2/bsb11039732/bsb:10672617?page=11>. Acesso em: 20 dez. 2022.

circula outros, faz cálculos, no que nos parecem tentativas de organizar os elementos de forma coerente. Além disso, há duas versões, sendo que a segunda parece um esforço para “passar a limpo” a primeira, mas que, ainda assim, permanece inacabada. Para Flôr (2009a), o contato do leitor com essas tabelas pode contribuir para a compreensão do cientista como um ser humano, sujeito a falhas e dúvidas, afastando-se da imagem do gênio, aspecto também destacado por Souza e Almeida (2001). Ressaltamos que as tabelas apresentadas na Figura 21 não aparecem no texto em análise.

Figura 21: Rascunhos do sistema proposto por Mendeleev.



Fonte: Sporsen (1969, p.134).

O critério básico de organização seguido por Mendeleev fica explícito logo no primeiro ponto enunciado por ele sobre a lei periódica: “1. Os elementos, se organizados de acordo com seus pesos atômicos, exibem uma periodicidade evidente de propriedades.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa). Segundo Scerri (2007), Mendeleev reconhecia o peso atômico como a única propriedade do elemento que não muda, independente do tipo de ligação que ele realiza. Por isso, sua ênfase na organização em função desse critério.

Na segunda conclusão listada por Mendeleev, ele compara os pesos e propriedades químicas dos elementos platina, irídio e ósmio, e potássio, rubídio e célio.

2. Os elementos que são semelhantes quanto às suas propriedades químicas têm pesos atômicos que são quase do mesmo valor (por exemplo, platina, irídio, ósmio) ou que aumentam regularmente (por exemplo, potássio, rubídio, célio). (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa).

Apresentamos novamente na Figura 22 abaixo, a tabela periódica publicada por Mendeleev em 1869, juntamente com os oito pontos enunciados por ele sobre a lei periódica. Destacamos em amarelo os elementos citados por Mendeleev. Essa relação aponta para a importância que ele dava para a comparação entre os elementos tanto na horizontal (potássio, rubídio e célio) quanto na vertical (platina, irídio e ósmio), ou seja, entre elementos pertencentes a grupos diferentes, e não só entre elementos semelhantes de um mesmo grupo. Esse aspecto foi decisivo para a proposta de Mendeleev, diferenciando-o de seus contemporâneos, que comparavam elementos semelhantes (BROOKS, 2002).

Figura 22: Tabela periódica de Mendeleev adaptada.

			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	Pd = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
			Zn = 65,2	Cd = 112	
			? = 68	Ur = 116	Au = 197 ?
			? = 70	Sn = 118	Bi = 210 ?
			As = 75	Sb = 122	
			S = 32	Se = 79,4	Te = 128 ?
			Cl = 35,5	Br = 80	J = 127
			K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
			Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
			? = 45	Ce = 92	
			?Er = 56	La = 94	Tl = 204
			?Yt = 60	Di = 95	Pb = 207
			?In = 75,6	Th = 118 ?	

Fonte: Adaptado de Lima, Barbosa e Filgueiras (2019).

Em sua terceira asserção, Mendeleev conclui que ao ordenar os elementos em ordem de peso atômico observa-se uma variação na valência, ou seja, em sua capacidade de ligação.

3. A disposição dos elementos, ou de grupos de elementos, na ordem de seus pesos atômicos, corresponde às suas denominadas valências, bem como, em certa medida, às suas propriedades químicas distintas - como é evidente, entre outras séries, nessas: lítio, berílio, bário, carbono, nitrogênio, oxigênio e ferro. (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa).

Para exemplificar essa relação, ele elenca os elementos: lítio, berílio, bário, carbono, nitrogênio, oxigênio e ferro. Quando analisamos essa sequência, os elementos

bário e ferro têm comportamento divergente da sequência proposta. Entretanto, na versão em alemão do artigo originalmente publicado por Mendeleev<sup>16</sup>, no qual enuncia pela primeira vez as oito conclusões sobre a lei periódica, ele utiliza os símbolos químicos: Li, Be, B, C, N, O e F, ou seja, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio, oxigênio e flúor. Essa segunda sequência de elementos corresponde àqueles que iniciam sete grupos de elementos em sua tabela, como destacado em vermelho na

Figura 22, acima. Adotando essa segunda sequência de elementos, observamos que eles apresentam valência 1, 2, 3, 4, 3, 2, 1, respectivamente, a qual se repete nos elementos que os sucedem, caracterizando um comportamento periódico dessa propriedade química.

Resta destacar que apesar de Mendeleev abordar a valência dos elementos, ele não a considerava como um critério único de classificação, visto que diversos elementos podem apresentar mais de um valor de valência, mas não os negligenciava (SCERRI, 2007). Um ponto falho apontado por Brooks (2002), é que Mendeleev não especifica em seu primeiro artigo quais seriam exatamente as propriedades físicas e químicas que deveriam ser consideradas na lei da periodicidade. Entretanto, após sua publicação, Mendeleev se dedica ao estudo do volume atômico e da capacidade de formação de óxidos, como função do peso atômico.

Retomando os oito pontos sobre a lei periódica, destacamos o caráter preditivo dos itens seis, sete e oito. No ponto seis, Mendeleev prevê a existência de novos elementos: “6. Devemos esperar a descoberta de muitos elementos ainda desconhecidos, por exemplo, elementos análogos ao alumínio e ao silício, cujo peso atômico estaria entre 65 e 75.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa). Esses novos elementos, denominados por Mendeleev como eka-alumínio e eka-silício, aparecem na tabela da

Figura 22 destacados com a cor azul. Como abordado no capítulo um desta tese e na seção 5.1.2.2, esses elementos foram posteriormente isolados, confirmando as previsões de Mendeleev.

Como discutido, Mendeleev utiliza a lei periódica para corrigir o peso atômico de alguns elementos, como enunciado no item sete: “7. O peso atômico de um elemento

---

<sup>16</sup> Mendelejeff, D. *Zeitschrift für Chemie*, v 12, p. 405-406, 1869. Disponível em: <https://opacplus.bsb-muenchen.de/Vta2/bsb11039732/bsb:10672617?page=11>. Acesso em: 20 dez. 2022.

pode, às vezes, ser corrigido pelo conhecimento dos elementos contíguos. Assim, o peso atômico do telúrio deve estar entre 123 e 126, e não pode ser 128.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa). Segundo Scerri (2007), Mendeleev propõe a troca destes elementos de posição na tabela, e afirma que o peso do telúrio estaria errado, como pode ser visto na continuação de sua fala na palestra Faraday.

Berzelius havia determinado que o peso atômico do telúrio era 128, enquanto a lei periódica reivindicava para ele um peso atômico inferior ao do iodo, que havia sido fixado por Stas em 126,5, e que certamente não era superior a 127. Brauner então empreendeu a investigação e mostrou que o verdadeiro peso atômico do telúrio é menor que o do iodo, sendo próximo a 125. (MENDELÉEFF, 1897, p. 485, tradução nossa).

Segundo Mendeleev, o telúrio deveria ter um peso atômico inferior ao do iodo a fim de respeitar a ordenação dos elementos em função desta propriedade. Em 1883, o químico Bohuslav Brauner (1855 – 1935) encontrou experimentalmente o valor de 125 para o peso do elemento telúrio. Entretanto, embora a inversão dos elementos tenha sido acertada do ponto de vista atual, a justificativa com base na previsão do valor de peso atômico do telúrio não se confirmou, visto que este valor é hoje reconhecido como 127,6u. Como já abordado, a explicação para esta inversão só foi compreendida no início do século XX, quando Henry Moseley mostrou que os elementos deveriam ser ordenados em função do número atômico, e não de seu peso (SCERRI, 2007).

Por fim, no oitavo ponto enunciado por Mendeleev, ele conclui que: “8. Certas propriedades características dos elementos podem ser previstas a partir de seus pesos atômicos.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 472, tradução nossa). Na parte final de sua palestra, Mendeleev destaca algumas dessas previsões, a começar pela existência de novos elementos.

A lei da periodicidade primeiro nos permitiu perceber elementos não descobertos a uma distância que antes era inacessível à visão química; e muito antes de serem descobertos, novos elementos apareceram diante de nossos olhos possuidores de um número de propriedades bem definidas. (MENDELÉEFF, 1897, p. 483, tradução nossa).

Dentre esses elementos, Mendeleev cita três que já haviam sido isolados, o gálio, o escândio e o germânio. Destaca ainda a mudança nos valores então conhecidos da valência dos elementos índio, cério, ítrio, berílio, escândio e tório. Também relata as correções nos valores de peso atômico em função da lei periódica para o urânio, telúrio, titânio e platina. Menciona, ainda, as propostas de outros cientistas para ajustes em propriedades físicas, tais como ponto de fusão, calor de formação, entre outros, a partir da lei periódica (MENDELÉEFF, 1897).

Ao final de sua fala, Mendeleev lança mão de uma metáfora para caracterizar a lei periódica: “O relato acima mencionado está longe de ser exaustivo de tudo o que já foi descoberto por meio do telescópio da lei periódica nos domínios ilimitados da evolução química.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 489, tradução nossa). Como abordamos anteriormente, as metáforas estão presentes do cotidiano das pessoas ao processo de construção da Ciência, contribuindo para divulgação e explicação de teorias, sendo utilizadas em vários textos científicos clássicos (FREITAS et al., 2014). No trecho destacado, Mendeleev compara a lei periódica a um telescópio.

O telescópio, desde a luneta de Galileu Galilei (1564 – 1642), tem sido utilizado como um instrumento que amplia o sentido humano da visão, permitindo ao homem olhar à distância e ver o que antes não conseguia. A observação do céu por meio desse instrumento, permitiu o desenvolvimento de novos conhecimentos astronômicos. Com o passar do tempo e a evolução dessa tecnologia, os telescópios foram aprimorados, possibilitando observar galáxias ainda mais distantes e com maior riqueza de detalhes (TEIXEIRA et al., 2022).

Ao comparar a lei periódica ao telescópio, podemos pensar nas contribuições desta lei para a Química. Ela pode ser interpretada como uma lente que permite observar e compreender melhor as características dos elementos, indo além do que os métodos até então utilizados permitiam mensurar. Por meio dela também foram previstos elementos que ainda não eram conhecidos, permitindo enxergar à distância. Com o passar do tempo, assim como os telescópios, a tabela periódica sofreu ajustes, o que também foi apontado por Mendeléeff (1897, p. 483, tradução nossa): “[...] digo sem hesitar que, embora ampliando muito nossa visão, ainda agora a lei periódica precisa de mais aperfeiçoamentos para que possa se tornar um instrumento confiável em novas descobertas.”

Desta forma, ao enunciar as oito conclusões sobre a lei periódica, Mendeleev destaca o ordenamento em função do peso, propriedade fundamental para as previsões, a existência de relações horizontais e verticais entre os elementos e a periodicidade da valência. Importante destacar que ao observarmos sua proposta, ela ainda está distante da tabela periódica atual. Considerando que esse texto foi escrito pelo cientista que é considerado o “pai” da tabela periódica, sua leitura pode adquirir um caráter de verdade, dadas as relações de forças (ORLANDI, 2010) que se estabelecem. Soma-se a isso o fato de que na escola, por vezes, a tabela periódica é abordada como um produto da Ciência, pronto e acabado. Nesse contexto, pensamos que a leitura do texto original de Mendeleev

serve como um contraponto a essas ideias, na medida em que apresenta um conhecimento em construção. Se associarmos à leitura do texto as imagens da tabela, esse processo torna-se mais evidente, pois revela as dúvidas, erros e incertezas, que normalmente não são reconhecidas nesse espaço. Desta forma, pensamos que a leitura deste texto pode deslocar os sentidos estabilizados para a tabela periódica e para a Ciência, contribuindo para uma visão mais coerente com o empreendimento científico, aspecto para o qual iremos direcionar nosso olhar a seguir.

### 5.2.2 CARACTERÍSTICAS DA CIÊNCIA

Segundo Zanotello (2011) e Silva e Almeida (2020), a leitura de textos originais de cientistas pode potencializar não só a construção de conceitos científicos, mas, também, contribuir para desfazer visões equivocadas sobre a Ciência e os cientistas. Assim, nos propomos nesta seção a analisar sentidos possíveis sobre as características da Ciência que emergem da leitura do trabalho de Mendeleev.

Após retomar as oito conclusões sobre a lei periódica, Mendeleev indica três pontos que considera como fundamentais para a elaboração de sua proposta, sobre os quais iremos nos debruçar. O primeiro ponto que Mendeleev destaca é a publicação dos pesos atômicos por Cannizzaro e sua divulgação no Congresso de Karlsruhe, na Alemanha.

Em primeiro lugar, foi nessa época que o valor numérico dos pesos atômicos se tornou definitivamente conhecido. Dez anos antes, tal conhecimento não existia, como pode ser entendido a partir do fato de que em 1860 químicos de todas as partes do mundo se reuniram em Karlsruhe a fim de chegar a algum acordo, se não no que diz respeito às visões relacionadas aos átomos, pelo menos quanto à sua representação definitiva. Muitos dos presentes provavelmente se lembram de quão vãs eram as esperanças de chegar a um entendimento, e quanto terreno foi conquistado naquele Congresso pelos seguidores da teoria unitária tão brilhantemente representada por Cannizzaro. Lembro-me vividamente da impressão produzida por seu discurso, que não admitia nenhum compromisso e parecia defender a própria verdade, com base nas concepções de Avogadro, Gerhardt e Regnault, que naquela época estavam longe de ser amplamente reconhecidas. E embora nenhum entendimento pudesse ser alcançado, ainda assim os objetivos da reunião foram alcançados, pois as ideias de Cannizzaro provaram, depois de alguns anos, serem as únicas que podiam suportar críticas, e que representavam um átomo como - "a menor porção de um elemento que entra em uma molécula de seu composto." Apenas esses pesos atômicos reais - não os convencionais - poderiam fornecer uma base para generalização (MENDELÉEFF, 1897, p. 473, tradução nossa).

A fala de Mendeleev nos mostra que a ideia de átomo ainda não era um consenso na comunidade científica da época. Segundo Oki (2007), durante o século XIX a teoria

atômica proposta por Dalton era reconhecida como útil para a interpretação de resultados empíricos quantitativos, mas a realidade dos átomos não era admitida. A não aceitação da existência dos átomos se dava pela ausência de evidências experimentais, pelas dificuldades em interpretar os fatos, bem como por questões de caráter metodológico e filosófico. Assim, durante o século XIX, os termos átomos, equivalentes e proporções eram utilizados como sinônimos, e tinham significados diferentes do que compreendemos hoje.

É importante destacar os múltiplos sentidos que um termo pode assumir, os quais derivam das condições de produção dos discursos, incluindo o contexto histórico. Ao lermos um texto histórico, o fazemos a partir de um contexto diferente do qual foi escrito e, como estamos sujeitos à determinação histórica na constituição dos sentidos, a interpretação não se dará da mesma forma daquela feita quando o texto foi escrito. Orlandi (2005) nos diz que embora a polissemia seja própria à linguagem, ocorre uma sedimentação histórica dos sentidos, ou seja, há sentidos privilegiados dada a época em que o texto foi escrito. Como consequência, a leitura de textos originais de cientistas deve ser feita levando em conta o período em que foi produzido. Robilotta e Babichak (1997) nos lembram que o significado de um conceito é construído a partir de suas relações com outros conceitos, dentro de uma estrutura maior. Assim, a compreensão dos significados atribuídos aos termos átomos, equivalentes e proporções, citados acima, depende das teorias discutidas naquela época, e devem ser lidos com esse olhar.

Retornando às divergências com relação à existência dos átomos, destacamos o posicionamento de Mendeleev. Segundo Baia (2010), Mendeleev reconhecia na hipótese atômica um instrumento teórico facilitador da investigação da matéria, mas não compreendia o átomo como uma entidade real. Essa oposição de Mendeleev à hipótese atômica se dava, dentre outros motivos, porque seu objeto de estudo eram os compostos indefinidos (minerais e soluções), os quais não possuíam composição fixa e seu comportamento não era explicado em termos da lei das proporções múltiplas de Dalton<sup>17</sup>. Assim, embora tivesse ressalvas com relação à ideia de átomo como uma entidade real, Mendeleev não a descartou totalmente, tendo em vista que o conceito de peso atômico, próprio da hipótese atômica, foi fundamental para a proposição da lei periódica (BAIA, 2010).

---

<sup>17</sup> Segundo a lei das proporções múltiplas, “se dois elementos, A e B, se combinam para formar mais de um composto, as massas de B, que podem se combinar com a massa de A, estão na proporção de números inteiros pequenos.” (BROWN et al., 2005, p. 32).

Outra questão que se colocava era a dúvida entre a adoção dos pesos atômicos ou dos pesos equivalentes para a caracterização dos elementos. O peso equivalente era obtido a partir da reação química entre o elemento que se queria determinar e aquele tomado como padrão. O peso atômico baseava-se na comparação entre as densidades da substância gasosa que se queria determinar e do elemento padrão. Dentre os elementos padrão estavam o hidrogênio e o oxigênio (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 1994). Disso decorria que para um mesmo elemento poderiam ser encontrados diferentes valores de peso, gerando também divergências nas notações das fórmulas químicas e na linguagem química (OKI, 2009).

Esse episódio histórico nos mostra que a Ciência não é um caminho único e direto, mas sim complexo, dinâmico e passível de controvérsias, “[...] caracterizadas por envolverem explicitamente uma disputa pública, conduzida e mantida persistentemente por algum tempo sobre uma matéria considerada polêmica por um certo número de cientistas.” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 43). Para estes autores as controvérsias são comuns na história da Ciência e constituem pontos de desenvolvimento científico, que surgem devido a problemas experimentais e metodológicos, devido à polissemia de termos, a crenças e ideologias dissonantes, entre outros.

Ainda analisando esta controvérsia, e pensando a relação entre teoria e experimento, podemos dizer que não houve um experimento crucial para a resolução da questão. Por experimento crucial, nos referimos àqueles de tamanha “envergadura e impacto, com poder de definição instantâneo, capaz de abalar os alicerces teóricos do conhecimento vigente em função de seus resultados” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 41). Segundo estes autores, embora alguns experimentos gerem dados de grande importância na construção de teorias, eles sozinhos não são capazes de definir de maneira inequívoca entre teorias em confronto, visto que as próprias condições em que o experimento foi desenvolvido podem ser questionadas. Como já ressaltamos, o processo de aceitação de uma teoria não é simples.

Nesse contexto, o congresso de Karlsruhe constituiu-se em um importante local para o debate sobre a questão do atomismo, o que nos aponta para o caráter público e coletivo da Ciência. Para Peduzzi e Raicik (2020), a Ciência se desenvolve a partir da discussão sobre conceitos, leis, experimentos, resultados, etc., o que só é possível a partir da publicização das pesquisas e da argumentação em torno de diferentes pontos de vista, resultando em uma construção coletiva do conhecimento. Para os autores, a divulgação e avaliação é o que confere legitimidade e impulsiona o desenvolvimento científico. Assim,

a participação em congressos para divulgação e debate de pesquisas constitui-se em uma atividade do cientista que nos aponta para o caráter social da Ciência.

Como citado por Mendeleev em sua palestra, a participação do químico italiano Stanislao Cannizzaro no evento também é apontada por Oki (2009) como de grande importância para o debate da questão atômica. Segundo a autora, o artigo “*Sunto di un Corso di Filosofia Chimica*” apresentado por Cannizzaro debatia os conceitos de átomo e molécula, e defendia a utilização do peso atômico como propriedade fundamental. Segundo Scerri (2007), Cannizzaro retomou a hipótese de Avogadro, segundo a qual volumes iguais de qualquer gás, submetidos às mesmas condições de temperatura e pressão, contêm o mesmo número de partículas. Como consequência, a densidade relativa de um gás forneceria uma medida de sua massa relativa. Com base nessa premissa, Cannizzaro analisou diferentes compostos, encontrando valores de peso atômico mais acurados para os elementos, tomando como padrão o hidrogênio gasoso.

Apesar de sua importância, uma palestra sozinha não é capaz de definir entre diferentes teorias, e a palestra de Cannizzaro não foi suficiente para a resolução da questão. Como ressaltado por Mendeleev em sua fala, em uma visão retrospectiva, após alguns anos as propostas de Cannizzaro provaram-se corretas por resistir às críticas. Segundo Oki (2009), a discussão sobre o atomismo esteve presente em inúmeros congressos envolvendo as comunidades científicas de Química e Física, bem como em artigos e livros, e um consenso só foi alcançado no início do século XX.

Na continuidade de sua fala, Mendeleev exemplifica como a definição dos pesos atômicos tornara mais evidente as relações entre os elementos. Para tanto, ele compara os pesos equivalentes e atômicos de duas sequências de elementos com características semelhantes: a primeira, potássio (K), rubídio (Rb) e cério (Cs) e, a outra, cálcio (Ca), estrôncio (Sr) e bário (Ba), como mostrado no Quadro 5, abaixo.

Quadro 5: Comparação entre pesos equivalentes e pesos atômicos.

<b>Pesos equivalentes</b>			<b>Pesos atômicos</b>		
K = 39	Rb = 85	Cs = 133	K = 39	Rb = 85	Cs = 133
Ca = 20	Sr = 43,5	Ba = 68,5	Ca = 40	Sr = 87	Ba = 137

Fonte: adaptado de Mendeléeff (1897)

Nestas sequências de elementos, temos potássio, rubídio e cério, que exibem

características semelhantes, visto que possuem um elétron na camada de valência, ocupando a atual família dos metais alcalinos. Vizinhos a esta família, estão os alcalinos terrosos, elementos que apresentam dois elétrons na camada de valência, representados na tabela acima por cálcio, estrôncio e bário. Nos dados apresentados, a partir do momento em que são utilizados os valores de pesos atômicos, observamos tanto o aumento regular dos pesos entre elementos de uma mesma linha, quanto a proximidade dos valores entre elementos que estão em uma mesma coluna. Assim, a utilização dos pesos atômicos evidenciou as relações periódicas existentes entre os elementos a partir desta propriedade, como apontado por Mendeleev na segunda conclusão sobre a lei periódica.

Além de um espaço para o debate de questões fundamentais para a Química, outra consequência do Congresso de Karlsruhe foi a ascensão da teoria de valência, segundo a qual os átomos possuem capacidades definidas de combinação química (OKI, 2007). A consideração da valência dos elementos também é feita por Mendeleev, ao apontar a terceira conclusão sobre a lei periódica, abordada anteriormente. Ainda em sua fala, Mendeleev discute como a lei periódica contribuiu para a determinação da valência dos elementos índio, cério, ítrio, berílio, entre outros. Também aponta elementos que tiveram seus pesos atômicos modificados em razão do estabelecimento da valência e da posição na tabela periódica, como dos elementos telúrio, titânio e platina. Assim, notamos como a teoria de valência, debatida no Congresso de Karlsruhe esteve presente nos trabalhos de Mendeleev.

Os episódios discutidos até aqui, a partir do primeiro ponto elencado por Mendeleev como fundamental para a elaboração da lei periódica, aponta para a busca de coerência entre conhecimentos. Segundo Pérez et al. (2001), a Ciência busca estabelecer laços entre diferentes domínios e construir teorias gerais aplicáveis ao maior número de fenômenos. Assim, a lei periódica não poderia prescindir da concordância com os pesos atômicos e a teoria de valência, ambos discutidos no Congresso de Karlsruhe, e adotados por Mendeleev.

Para tanto, como citado acima, foi necessário revisar a posição dos elementos, o peso, a valência, entre outros aspectos, de forma a se chegar a uma coerência entre eles e ao estabelecimento de generalizações. Como apontado por Pérez et al. (2001), duvidar dos resultados e processos, e revisá-los continuamente são condutas seguidas pelos cientistas na busca de concordância entre diferentes teorias. Assim, podemos dizer que o conhecimento científico é unificador, pois “promove uma teia de inter-relações entre

conceitos, leis e teorias” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 21).

O segundo aspecto indicado por Mendeleev como importante para a construção da lei periódica foi a elaboração das propostas anteriores, com destaque para as décadas de 1850 e 1860.

Em segundo lugar, tornou-se evidente durante o período de 1860-70, e mesmo durante a década anterior, que as relações entre os pesos atômicos de elementos análogos eram estabelecidas por algumas leis gerais e simples. Cooke, Cremers, Gladstone, Gmelin, Lenssen, Pettenkofer e especialmente Dumas já haviam estabelecido muitos fatos relacionados a essa visão (MENDELÉEFF, 1897, p. 473, tradução nossa).

No trecho acima, Mendeleev ressalta os nomes de alguns cientistas que trabalharam, principalmente, a partir da ideia de tríades ou grupos de elementos análogos, na década de 1850. Para Mendeleev, essas ideias devem ser reconhecidas como precursoras da lei periódica. Segundo Spronsen (1969), Pettenkofer, que observou a existência de intervalos constantes entre os pesos de determinadas séries de elementos, consolidou as bases para a lei periódica, trabalho que foi aprofundado por Josiah Parsons Cooke (1827 – 1894), John Hall Gladstone (1827 – 1902) e Lenssen. Dumas avançou ao ampliar as relações para grupos diferentes de elementos.

Para Mendeléeff (1897), a busca de associações somente entre elementos análogos contribuiu para a demora em se chegar à lei periódica. Como destacado na segunda asserção de Mendeleev, ele também comparou elementos de grupos diferentes, o que, segundo Brooks (2002), foi decisivo para o conceito de periodicidade, bem como a incorporação de todos os elementos conhecidos até então, ainda que fossem pouco estudados. Para Mendeleev, a ausência desses aspectos são pontos falhos nas propostas de Chancourtois e Newlands. Entretanto, ainda assim, Mendeleev reconhece que princípios da lei periódica já estavam embutidos nessas propostas: “[...] tanto De Chancourtois e Newlands como Dumas e Strecker, mais do que Lenssen e Pettenkofer, fizeram uma abordagem da lei periódica e descobriram seus princípios.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 474, tradução nossa).

Importante destacar que a obra que estamos analisando foi escrita vinte anos após a publicação da primeira versão da lei periódica por Mendeleev e, por isso, ele faz uma retrospectiva do desenvolvimento deste conhecimento. Entretanto, segundo Scerri (2007), Mendeleev afirmou não conhecer as propostas de Chancourtois, Odling, Newlands, Hinrichs e Meyer quando enunciou a lei periódica.

O interesse de Mendeleev por trabalhos de outros cientistas é destacado ao longo

de toda a sua palestra, quando ele apresenta e discute potencialidades e o que considera como equívoco em vários deles. Ele aborda, por exemplo, tentativas de expressar a lei periódica por meio de funções algébricas, com as propostas de E. J. Mills, em 1886, e B. N. Tchitchérin, em 1888. Embora considere que tais propostas são incompletas, Mendeleev reforça que devem ser repetidas a fim de se encontrar uma representação algébrica para a periodicidade das propriedades dos elementos (MENDELÉEFF, 1897). Destacamos que essas propostas são pouco difundidas e diferem muito das ideias de Mendeleev e de outros cientistas que estudaram a tabela periódica. Entretanto, observamos a atenção de Mendeleev para com elas, ao discuti-las na conferência.

A revisão de literatura desta tese apontou que a abordagem da lei periódica em livros didáticos de Química do Ensino Médio é, por vezes, limitada. Targino e Giordan (2016) concluem que os livros analisados não reconhecem as contribuições de antecessores e contemporâneos de Mendeleev e, quando o fazem, se restringem a Newlands, Chancourtois e Dobereiner. Para os autores, essa abordagem destaca somente os trabalhos cujas ideias se assemelham às atuais.

Peduzzi e Raicik (2020) utilizam o termo historiografia *whig* para nomear essa abordagem, caracterizada por omitir ideias que se distinguem das aceitas atualmente e excluir o que considera como erros e aspectos irracionais. Desta forma, valoriza figuras individuais, elegendo gênios da Ciência. Os autores destacam que é preciso olhar para o passado respeitando seus valores, problemas, métodos e contexto, não sendo aceitável a omissão dos personagens da história.

Essa abordagem contrasta com a fala de Mendeleev, que ressalta o trabalho de vários cientistas que contribuíram para a construção de um arcabouço teórico para a lei periódica, e que são muitas vezes omitidos. Isso nos mostra que a construção da Ciência não se dá a partir do nada, mas sim sobre conhecimentos anteriores, como ressalta Peduzzi e Raicik.

[...] O interesse do estudioso pelas obras de seus predecessores é *sine qua non* (condição indispensável) 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).

Trazemos agora o terceiro aspecto indicado por Mendeleev como fundamental para a elaboração da lei periódica.

Uma terceira circunstância que revelou a periodicidade dos elementos químicos foi o acúmulo, no final dos anos sessenta, de novas informações sobre os elementos raros, revelando suas relações multilaterais com outros

elementos e entre si. As pesquisas de Marignac sobre o níbio e as de Roscoe sobre o vanádio foram um momento especial. As notáveis analogias entre vanádio e fósforo por um lado, e entre vanádio e cromo por outro, que se tornaram tão evidentes nas investigações ligadas a esse elemento, naturalmente induziram a comparação [...]. De tais aproximações restou apenas um passo para a descoberta da lei de periodicidade. (MENDELÉEFF, 1897, p. 475, tradução nossa).

Mendeleev destaca as contribuições de Jean-Charles Galissard de Marignac (1817-1894), que comprovou a existência e distinguiu os elementos níbio e tântalo (SOUSA et al., 2013). Também aponta os trabalhos de Henry Enfield Roscoe (1833-1915), o primeiro a isolar o elemento vanádio, o que permitiu corrigir o valor até então conhecido para seu peso atômico (WISNIAK, 2016). Segundo Mendeleev, essas contribuições possibilitaram o estabelecimento de comparações entre estes elementos recém isolados e outros já conhecidos, permitindo avançar em direção à formulação da lei periódica.

Como apontado no capítulo um desta tese, o desenvolvimento de diferentes áreas, como a mineralogia e a metalurgia, e de técnicas, como a eletrólise, possibilitaram o isolamento de novos elementos. No século XIX, diferentes técnicas de identificação de elementos foram desenvolvidas, como a espectroscopia, apontada por Mendeleev como “uma nova e poderosa arma da química” (MENDELÉEFF, 1897, p. 479, tradução nossa). Desta forma, o crescimento de diferentes áreas ampliou o número de elementos conhecidos, bem como as informações sobre eles. O que, por sua vez, permitiu preencher as lacunas existentes e observar mais facilmente as semelhanças e diferenças entre os elementos. Observamos, portanto, como o desenvolvimento de diferentes domínios do conhecimento e tecnologias pode limitar ou potencializar o amadurecimento de outros campos do saber.

Um ponto que emerge da fala de Mendeleev é que, para ele, o acúmulo de informações possibilitou a construção da lei periódica, o que é reforçado no seguinte trecho: “A lei da periodicidade foi, assim, um resultado direto do agregamento de generalizações e fatos estabelecidos que se acumularam até o final da década de 1860-1870: é uma construção destes dados em uma composição mais ou menos sistemática.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 475, tradução nossa).

Baia (2010), baseada nos trabalhos de John Kultgen, discute as percepções de Mendeleev sobre a forma de desenvolvimento da Química, que se daria a partir de trabalhos empíricos que levariam a generalizações. Essa visão aparece em outros momentos da palestra de Mendeleev, que aponta a lei periódica como uma generalização

de muitos fatos químicos. Segundo Peduzzi e Raicik (2020), o processo de formulação do conhecimento partindo-se de casos particulares para proposições gerais, ou seja, a partir de resultados experimentais para hipóteses e teorias, recebe o nome de indução.

Na Introdução de sua obra *“The Principles of Chemistry”* Mendeleev afirma: “[...] pode-se dizer com segurança que o método indutivo de investigação é uma maneira mais perfeita de adquirir conhecimentos do que o método dedutivo sozinho [...]” (MENDELÉEFF, 1897, p. 2, tradução nossa). Essas passagens nos mostram uma visão de Ciência indutivista por parte de Mendeleev, o que reflete as concepções e o fazer científico da época.

Retomando a construção da lei periódica, Mendeleev prossegue:

Em primeiro lugar, temos a circunstância de que, assim que a lei surgiu, ela exigiu a revisão de muitos fatos que os químicos consideravam plenamente comprovados pela experiência. Voltarei, mais adiante, brevemente a este assunto, mas quero agora lembrar-lhes que a lei periódica, por insistir na necessidade da revisão de supostos fatos, expôs-se imediatamente à destruição em sua própria origem. Seus primeiros requisitos, no entanto, foram quase inteiramente satisfeitos durante os últimos 20 anos; os supostos fatos cederam à lei, provando assim que a própria lei era uma indução legítima dos fatos verificados. Mas nossas induções a partir de dados têm muitas vezes a ver com tais detalhes de uma ciência tão rica em fatos, que apenas generalizações que cobrem uma ampla gama de fenômenos importantes podem atrair a atenção geral. (MENDELÉEFF, 1897, p. 475, tradução nossa).

O trecho acima nos mostra que a partir da publicação da lei periódica, Mendeleev continuou trabalhando em sua tabela e no laboratório, revisando as propriedades físicas e químicas de diferentes elementos. Como destacado anteriormente, corrigiu a posição dos elementos, propôs mudanças nos valores de peso atômico e valência, entre outros, de forma a chegar a uma coerência entre eles e ao estabelecimento de generalizações. Segundo Pérez et al. (2001), o constante questionamento dos resultados e processos faz parte da Ciência, o que leva a contínuas revisões em busca da adequação entre a teoria e os fatos, aspecto que também emerge na fala Mendeleev.

Segundo Baia (2010), baseada nos trabalhos de John Kultgen, Mendeleev considerava que qualquer sistema seria hipotético, dada a infinidade de dados disponíveis na natureza. Assim, diante de novos resultados experimentais, o sistema passaria por ajustes. Entretanto, para Mendeleev, podem ocorrer casos em que a Ciência esteja mais avançada do que os dados empíricos, forçando a uma revisão dos dados e não da teoria, como destacado no trecho: “[...] logo que a lei surgiu, ela exigiu a revisão de muitos fatos que os químicos consideravam plenamente comprovados pela experiência.” (MENDELÉEFF, 1897, p. 475, tradução nossa). Nesse processo, ele utilizou da estrutura

da lei para obter conclusões sobre os dados, em um método inverso ao que vinha fazendo. Nesse caso, tem-se um processo dedutivo de construção do conhecimento que parte da lei para os dados, do geral para o específico.

Esses episódios nos mostram como não existe um método único para a construção da Ciência. Segundo Pérez et al. (2001) e Peduzzi e Raicik (2020), uma visão deformada sobre a Ciência, e que é amplamente divulgada, é a existência do “método científico” com um conjunto de etapas rígidas e infalíveis a serem seguidas. Essa visão desconsidera as tentativas, dúvidas, criatividade, o contexto histórico e social, entre outros aspectos que são inerentes ao processo. Assim, há que se considerar a existência de “muitos métodos, muitos procedimentos passíveis de erros e incertezas, que dependem do que se investiga e de como e onde isso é feito.” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p. 33).

Com base no exposto a partir das análises do texto original escrito por Mendeleev, notamos que, embora utilize termos próprios da formação discursiva da Química, ele o faz em um modo narrativo de escrita, o que contribui para uma melhor compreensão dos processos de construção da lei periódica. Com relação à lei, Mendeleev explicita suas características fundamentais, e aponta os caminhos que o permitiu chegar até ela, bem como contribuições que a tabela periódica trouxe para a construção de novos conhecimentos. Ao mesmo tempo, reconhece que a lei periódica ainda carecia de aperfeiçoamentos. Com relação às visões sobre a Ciência, Mendeleev destaca a importância de trabalhos anteriores, apontando para a relevância da comunidade científica e do debate das ideias.

Consideramos, portanto, que a leitura do texto original de Mendeleev pode contribuir de forma positiva para discussões sobre a lei periódica e sobre as características da Ciência. Entretanto, uma barreira que se coloca para essa abordagem reside na dificuldade em encontrar obras originais, especialmente de Mendeleev, traduzidas para o português, sendo este um caminho que ainda precisa ser trilhado. Talvez por este motivo não encontramos na revisão de literatura trabalhos que lançam mão de textos originais de Mendeleev.

### 5.3 INTERLOCUÇÕES ENTRE OS TEXTOS E O ENSINO DE QUÍMICA

A partir da leitura de discursos presentes na obra de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos” (KEAN, 2011), e no texto original de cientista “*The periodic law of*

*the Chemical elements*” (MENDELÉEFF, 1897), estabelecemos alguns pontos de contato e de distanciamento entre eles, e de ambos com o ensino de Química.

Com relação à escrita dos textos, notamos que os dois constroem uma narrativa, que se manifesta no caso da DC na inserção de impressões pessoais do autor sobre os eventos científicos narrados, de pequenas histórias curiosas sobre os cientistas, com um vocabulário menos formal, entre outros. No texto original de Mendeleev, a narrativa é construída de forma a abordar os caminhos seguidos, os trabalhos de outros cientistas, as dúvidas e problemas enfrentados na construção da tabela periódica. Essas características estão de acordo com o observado por Zanotello (2011) e Silva e Almeida (2020) no estudo de textos originais de cientistas, e por Zamboni (2001) no que se refere à DC. Para esses autores, esses são aspectos que auxiliam na leitura do texto, tornando-o mais atrativo aos estudantes.

Entretanto, os textos diferem, dentre outros aspectos, na retomada de conhecimentos tácitos, com a explicação de termos e conceitos da formação discursiva da Química na divulgação científica, mas não no original. Assim, quando da leitura da obra de Mendeleev, é necessária a retomada dos conceitos, levando-se em conta a época em que foi escrito e os significados atribuídos naquele contexto. Além disso, por se tratar de um texto antigo, os conceitos utilizados podem assumir sentidos diferentes dos de hoje, o que nos aponta para as mudanças que ocorrem dentro da própria Ciência, como ressaltado por Zanotello (2011).

Destacamos a necessidade de realizar a leitura das próprias tabelas, e não só dos textos, para compreensão da lei periódica. Com relação à presença de ilustrações, a DC apresenta imagens da tabela atual e de uma tabela de Mendeleev, entretanto não são apresentadas as imagens de outras propostas de organização dos elementos. No texto original, são apresentados alguns quadros que auxiliam na observação das relações entre elementos, mas falta uma imagem da tabela proposta por Mendeleev. Assim, em ambos os casos, consideramos de fundamental importância a complementação da leitura com imagens das diferentes propostas de tabela periódica. A preocupação com a inserção de outros recursos nas atividades de ensino, além dos textos de divulgação científica, também foi expressa por Targino e Giordan (2016). Segundo os autores, a utilização somente do TLDC selecionado por eles não seria suficiente para a compreensão da lei periódica sendo, portanto, necessária a diversificação dos materiais.

Com relação à lei periódica, destacamos quatro pontos que compreendemos como fundamentais e estão entrelaçados à tabela periódica: a noção de elemento químico, a

definição de um critério de organização, a evolução das propostas e o caráter preditivo da tabela proposta por Mendeleev.

Como discutimos no capítulo um desta tese, a ideia de elemento químico fundamenta todo o processo de elaboração da tabela periódica e, portanto, deve estar aliada ao ensino deste conteúdo. Ao ancorar as análises das metáforas presentes na DC nas diferentes propostas de organização dos elementos, trouxemos a definição operacional utilizada por Lavoisier, o peso atômico adotado por Mendeleev e, por último, a proposta de número atômico desenvolvida por Moseley. Essas definições serviram como critério para a organização dos elementos. Entretanto, a obra “A colher que desaparece” não explora a construção desses conceitos, aspecto que foi em parte apresentado por Mendeleev em sua palestra ao se referir às discussões realizadas no Congresso de Karlsruhe. Esse excerto da obra mostra como é complexa a aceitação de uma teoria, e que envolve dúvidas e debates entre os cientistas.

Ainda com relação aos elementos químicos, destacamos que a obra de DC apresenta curiosidades, aplicações, descobertas e histórias diversas sobre eles, funcionando como um recurso para uma abordagem mais contextualizada. Desta forma, permite ir além da memorização de informações, como número atômico, massa atômica, posição, entre outros, chegando a temas que podem dialogar com as histórias de leitura dos estudantes.

A definição de critérios de organização dos elementos esteve presente nos trabalhos de Cunha, Peres e Stanzani (2014) e Assai e Almeida (2019). Os autores apontam que esse entendimento permite ao estudante compreender que a posição dos elementos não é aleatória, e ir além da memorização de informações. Nesse sentido, emergem das análises da DC os critérios de reatividade em Lavoisier, de peso atômico em Mendeleev e da distribuição eletrônica em Seaborg.

Indo nessa direção, Mendeleev apresenta os fundamentos de sua proposta, resumidos nas oito proposições. Embora Kean não cite estes oito pontos, ele destaca aspectos essenciais do trabalho de Mendeleev: o peso atômico como uma característica definitiva dos elementos, a importância de incorporar todos os elementos conhecidos à tabela, e a previsão das propriedades de novos elementos. Assim, enquanto Kean oferece um panorama, Mendeleev detalha os pontos essenciais da sua proposta.

Dentre as proposições enunciadas por Mendeleev, está a previsão dos elementos análogos ao alumínio e ao silício. Um pouco à frente na palestra, Mendeleev menciona brevemente a descoberta desses elementos como uma confirmação da lei periódica. Em

“A colher que desaparece”, Sam Kean narra a descoberta do elemento gálio (análogo ao alumínio), por Lecoq de Boisbaudran, e a disputa entre ele e Mendeleev pelos créditos do trabalho. Embora não tenha sido explorada neste trabalho, a leitura deste trecho revela os embates entre esses cientistas para a definição desta questão.

Com relação à previsão de inversão dos elementos telúrio e iodo, Kean apresenta essa proposta, mas não discute a justificativa de Mendeleev, o que foi defendido pelo químico em sua palestra. A leitura do original nos mostra que a justificativa de Mendeleev envolve uma previsão que se mostrou equivocada, o que não foi explorado na DC. Outras atualizações na tabela periódica são abordadas por Kean, como a inclusão dos gases nobres e dos transurânicos, que discorreremos anteriormente.

Partindo para as características dos cientistas que emergem dos trabalhos, Sam Kean aponta a contribuição de seis cientistas na construção da tabela periódica na década de 1860. Destes, três aparecem somente em uma nota ao final do livro, enquanto Mendeleev é tomado como herói da tabela periódica em detrimento das propostas de Newlands e Meyer. Em sua palestra, Mendeleev também aborda a importância da década de 1860 para o estabelecimento da lei periódica, apontando vários cientistas que contribuíram neste processo. Ainda com relação a esta contribuição, destacamos que a DC não traz o Congresso de Karlsruhe, o que é apontado como fundamental por Mendeleev.

Assim, observamos na leitura do original como Mendeleev valoriza essas propostas anteriores, ainda que algumas se difiram bastante de sua tabela, e os espaços de publicação e debate da Ciência. Isso nos leva a refletir sobre a grande quantidade de propostas de organização dos elementos que foram feitas, o que contribui para desfazer a ideia de um “pai” para a tabela periódica, como é comumente referido Mendeleev. Essa visão equivocada é, por vezes reforçada nos livros didáticos de Química, que apresentam somente as propostas que estão diretamente relacionadas à tabela atual, e não discutem o contexto histórico em que foram desenvolvidas (BARRETO et al., 2016; TARGINO; BALDINATO, 2016). Assim, pensamos que a leitura dos discursos presentes na DC e no original de Mendeleev nos aponta para o caráter social da Ciência, enquanto uma atividade que envolve o esforço de vários indivíduos. Contribui, portanto, para desfazer essa visão equivocada sobre a construção da tabela periódica e resgatar a importância de conhecer as propostas anteriores, bem como os processos de construção da Ciência.

Outro ponto que destacamos é a imagem de Mendeleev como um gênio, a qual pode ser reforçada por meio da leitura da divulgação científica. Por outro lado, a

observação dos rascunhos da tabela periódica feitos por Mendeleev, bem como das dúvidas que ele expressa sobre a existência dos átomos, por exemplo, pode contribuir para desfazer essa imagem do supercientista, reconhecendo-o como um homem normal e, por isso, sujeito a erros e acertos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trazemos nesse trabalho a preocupação com um ensino de Química que fuja da memorização de dados, que se aproxime mais do cotidiano dos estudantes, que use de abordagens mais interessantes e que contribua para uma visão ampliada desta ciência. Dentre os tópicos abordados na Química do Ensino Médio, destacamos a tabela periódica, um artefato que reúne todos os elementos conhecidos do universo, apresentando suas características de maneira elegante e organizada. Capaz de alinhar a estrutura interna dos elementos às suas propriedades físicas e químicas, permitindo prever seu comportamento. Em sua história, nos deparamos com diversos personagens que se esforçaram para encontrar uma lógica de organização dos elementos, em um processo que levou tempo e que, ainda hoje, é passível de modificações.

Apesar de sua importância para a Química, o ensino da tabela periódica está muito centrado na memorização das tendências periódicas, dos nomes e símbolos dos elementos, como observado por meio da revisão de literatura. Os trabalhos encontrados indicaram fragilidades na abordagem da tabela periódica nos livros didáticos, que não discutem sua construção de forma satisfatória. De igual modo, as pesquisas realizadas com professores também indicaram as dificuldades que estes enfrentam na abordagem deste conteúdo. Por outro lado, as poucas propostas que trouxeram a história da tabela periódica e discutiram o uso da DC e de originais de cientistas em sala de aula apontam para as suas potencialidades, no sentido de possibilitar uma abordagem de conteúdos de forma mais contextualizada, bem como desfazer visões equivocadas de Ciência e cientista. Entretanto, apontam a necessidade de mais estudos que analisem os textos e discutam sua inserção em sala de aula.

Com base no exposto, trouxemos a seguinte questão de pesquisa: como a leitura de um texto de divulgação científica e um original de cientista sobre a tabela periódica pode contribuir para a produção de efeitos de sentidos sobre esse artefato? A fim de responder a esta pergunta, trouxemos para análise a obra de divulgação científica “A colher que desaparece: E outras histórias reais de loucura, amor e morte a partir dos elementos químicos” (KEAN, 2011), e o texto original de cientista “*The periodic law of the Chemical elements*” (MENDELÉEFF, 1897). Como suporte teórico e metodológico, fundamentamos o trabalho na Análise de Discurso de Linha Francesa, especialmente nas produções de Eni Orlandi, no Brasil.

No primeiro objetivo de pesquisa, visamos compreender as possibilidades e

limites de produção de efeitos de sentidos sobre a tabela periódica a partir da leitura de textos de divulgação científica e originais de cientista. Emergiram das análises quatro pontos que consideramos importantes para a abordagem da tabela periódica: a noção de elemento químico, a definição de um critério de organização, a evolução das propostas e o caráter preditivo da tabela proposta por Mendeleev. Observamos que nenhum dos textos sozinho é capaz de esgotar estes pontos, mas, em conjunto, fornecem uma ancoragem para discussões em sala de aula. Sobre a ideia de elemento químico, por exemplo, as metáforas presentes na DC permitem discutir como essa noção variou ao longo do tempo, e no texto de Mendeleev encontramos uma discussão sobre um possível consenso a respeito desse ponto. Além disso, a DC traz uma contextualização dos elementos que perpassa aspectos históricos, culturais, sociais e relacionados a saúde, guerras, entre outros.

No segundo objetivo, nos propusemos a estabelecer possibilidades de articulação entre os efeitos de sentidos possíveis para a classificação dos elementos químicos e a construção da tabela periódica presentes em tais textos. Emergem dos textos sentidos que apontam para algumas das tentativas de organização dos elementos. Entretanto, as análises da DC nos indicaram uma valorização da proposta de Mendeleev em detrimento de outras. Por outro lado, a leitura do texto original aponta para a valorização, por parte de Mendeleev, das contribuições anteriores às dele, contribuindo para desfazer a ideia de gênio e revelando a Ciência como uma construção coletiva.

Por outro lado, por passear ao longo de diversos momentos históricos, a DC aponta para o caráter provisório do conhecimento científico, ao trazer diferentes atualizações na tabela proposta por Mendeleev, algumas das quais ele não chegou a ver. Também indica a influência de contextos externos ao da Ciência na promoção de seu desenvolvimento. Assim, permite discutir a provisoriedade dos conhecimentos científicos.

Observando os dois textos analisados, pensamos que eles se complementam no sentido de fornecer um panorama sobre a tabela periódica de Mendeleev, mas sem deixar de mostrar propostas anteriores e posteriores à dele. Dessa forma, eles podem abrir espaço para o diálogo sobre outras possibilidades de organização dos elementos e sobre as alterações que ocorreram ao longo do tempo, bem como os motivos que levaram a isso. Pode contribuir, portanto, para desfazer a visão de que ela está pronta e acabada, sem possibilidade de modificação. Essa multiplicidade de sentidos pode proporcionar ao leitor desfazer a ideia da Ciência como verdade absoluta, e compreender seu caráter provisório.

Incompletude da tabela periódica. Incompletude da Ciência. Sempre capaz de se modificar.

Destacamos, mais um vez, que os sentidos aqui levantados não são os únicos possíveis, nem os mais corretos, mas aqueles construídos a partir de nossas histórias de leituras e objetivos de trabalho. Além disso, não foi possível dizer tudo que caberia ser dito diante da riqueza de possibilidades que os textos oferecem. Incompletude do texto.

Diante das tantas oportunidades que a leitura proporciona, trazemos como continuidade deste trabalho a análise de outros contextos que podem ser explorados a partir da leitura dos textos. Também apontamos a necessidade de tradução para o português de mais trabalhos originais de cientistas, especialmente de Mendeleev, de forma a alcançar uma maior quantidade de leitores. Por fim, o desafio que por ora me proponho a enfrentar é levar para as minhas aulas sobre a tabela periódica as discussões aqui levantadas, de forma a contribuir para a formação do estudante leitor e valorizar as construções da Ciência.

## REFERÊNCIAS

ABRAS, C. M. et al. Avaliando a aprendizagem dos alunos da primeira série do Ensino Médio em uma unidade didática sobre o tema tabela periódica. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 16., 2012. **Anais...** Salvador, 2012. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/download/7256/5033>. Acesso em: 15 jan. 2020.>

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. et al. **Percursos da História da Química**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

ALMEIDA, M. J. P. M. Prescrições e recomendações ao professor na solução de problemas do ensino na educação em ciências. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, p. 47–51, 2006.

ALMEIDA, M. J. P. M. O texto de divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo à ciência. In: PINTO, G. A. (Ed.). **Divulgação científica e práticas educativas**. 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2010. p. 11–24.

ALMEIDA, M. J. P. M.; PAGLIARINI, C. R. Representação numa vertente da Análise de Discurso e seu funcionamento em situações de ensino e pesquisa. **Revista Discurso & Imagem Visual em Educação**, v. 3, n. 1, p. 4–15, 2018.

ALMEIDA, M. J. P. M.; RICON, A. E. Divulgação científica e texto literário -uma perspectiva cultural em aulas de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 1, p. 7–13, 1993.

ALMEIDA, M. J. P. M.; SILVA, H. C.; MACHADO, J. L. M. Condições de produção no funcionamento da leitura na Educação em Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 5–17, 2001.

ALMEIDA, M. J. P. M.; SORPRESO, T. P. Dispositivo analítico para compreensão da leitura de diferentes tipos textuais: exemplos referentes à Física. **Pro-Posições**, v. 22, n. 1, p. 83–95, 2011.

ANJOS, L. C. G. DOS; MENON, A.; BERNARDELLI, M. S. O Sabor da Tabela Periódica: Integrando Conceitos de Nutrição Com o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 3, p. 275–285, ago. 2019.

ASSAI, N. D. DE S.; ALMEIDA, A. G. Desvendando a Organização dos Elementos da Tabela Periódica utilizando a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 12., 2019. **Anais...** Natal, 2019.

ASSUNÇÃO, J. P. P. et al. Batalha Naval Química no Ensino Fundamental: Uma

abordagem lúdica do conteúdo de Tabela Periódica. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 19., 2018. **Anais...** Rio Branco, 2018.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BAIA, F. A. S. P. **Átomos, elementos químicos, planetas e estrelas - concepções de Mendeleev sobre o mundo microscópico**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BAKER, D. R. A summary of research in science education – 1989: Textbooks and text comprehension. **Science Education**, v. 75, n. 3, p. 359–367, 1991.

BARRETO, G. S. N. et al. História da Ciência nos Livros Didáticos de Química: Tabela Periódica como Objeto de Investigação. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0229-1.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020.>

BECHARA, E. **Moderna gramática portuguesa**. 39. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2019.

BELTRAN, M. H. R. História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares. **Abakós**, v. 1, n. 2, p. 67–77, maio 2013.

BENSAUDE-VINCENT, B. Mendeleev's periodic system of chemical elements. **The British Journal for the History of Science**, v. 19, n. 1, p. 3–17, mar. 1986.

BOESDORFER, S.; LORSBACH, A. PCK in Action: Examining one Chemistry Teacher's Practice through the Lens of her Orientation Toward Science Teaching. **International Journal of Science Education**, v. 36, n. 13, p. 2111–2132, 2014.

BROOKS, N. M. Developing the Periodic Law: Mendeleev's work during 1869-1871. **Foundations of Chemistry**, v. 4, p. 127–147, 2002.

BROWN, T. L. et al. **Química, a ciência central**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CALHEIRO, E. DA S. M.; SEVERO FILHO, W. A.; CALHEIRO, N. Paródia musical: metodologias lúdicas como estratégia para estimular o aprendizado em Química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

- CAMPBELL, J. **O herói de mil faces**. São Paulo: Editora Pensamento, 2004.
- CAMPOS, G. C. Estudos da Tradução e Análise do Discurso: diálogos possíveis. **Cadernos do CNLF**, v. 12, p. 45–55, 2009.
- CASSIANI, S.; GIRALDI, P. M.; VON LINSINGEN, I. É possível propor a formação de leitores nas disciplinas de Ciências Naturais? Contribuições da análise de discurso para a educação em ciências. **Educação: teoria e prática**, v. 22, n. 40, p. 43–61, 2012.
- CÉSAR, E. T.; REIS, R. DE C.; ALIANE, C. S. DE M. Tabela Periódica Interativa. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 3, p. 180–186, 2015.
- COELHO, P. P. B. et al. O Ensino da Tabela Periódica por meio de sequências didáticas contextualizadas. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais... Ouro Preto**, 2014.
- COSTA, S. R. **Dicionário de gêneros textuais**. 3. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2008.
- CRUXEN, E. B. A fortificação medieval como documento histórico- arquitetônico e símbolo de poder. **Métis: história & cultura**, v. 8, n. 16, 2009.
- CUNHA, M. B. DA; PERES, O. M. R.; STANZANI, E. DE L. Tabela Periódica: um material para atividade de classificação dos elementos. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais... Ouro Preto**, 2014.
- DRESCHER, C. F.; OLIVEIRA, J. S.; FERNANDES, L. DA S. Bingo Químico em Braille. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 16., 2012. **Anais... Salvador**, 2012. Disponível em:  
<<https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/7553>. Acesso em 15 jan. 2020>
- FERREIRA, L. H.; CORREA, K. C. S.; DUTRA, J. DE L. Análise das estratégias de ensino utilizadas para o ensino da Tabela Periódica. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p. 349–359, 2016.
- FIALHO, N. N.; VIANNA FILHO, R. P.; SCHMITT, M. R. O Uso de Mapas Conceituais no Ensino da Tabela Periódica: Um Relato de Experiência Vivenciado no PIBID. **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 4, p. 267–275, 2018.
- FILGUEIRAS, C. A. L. **Lavoisier - o estabelecimento da Química Moderna: nada se cria, nada se perde, tudo se pesa**. 2. ed. ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2007.
- FLÔR, C. C. **Leitura e formação de leitores em aulas de química no ensino médio**. 2009. 235 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica)— Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009a.

FLÔR, C. C. A História da Síntese de Elementos Transurânicos e Extensão da Tabela Periódica Numa Perspectiva Fleckiana. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 246–250, 2009b.

FLÔR, C. C.; CASSIANI, S. O que dizem os estudos da linguagem na educação científica? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 2, p. 67–86, 2011.

FRANCISCO, W.; FRANCISCO JUNIOR, W. E. Leitura e demonstração de experimentos por meio de vídeos : análise de uma proposta a partir da escrita dos estudantes. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 49–65, 2013.

FRANCO-PATROCÍNIO, S.; FERNANDES, J. M.; FREITAS-REIS, I. Um Modelo Tátil Da Tabela Periódica: O Ensino De Química Para Alunos Cegos Num Contexto Inclusivo. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 11., 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0231-1.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2020.>

FREITAS, L. P. S. R. et al. As Analogias na História das Ciências: uma análise de suas contribuições na construção da História da Química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 12., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

GERALDI, J. W. Prática da leitura na escola. In: GERALDI, J. W. (Ed.). **O texto na sala de aula**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

GODOI, T. A. F.; OLIVEIRA, H. P. M.; CODOGNOTO, L. Tabela periódica – Um super trunfo para alunos do ensino fundamental e médio. **Química nova na escola**, v. 32, n. 1, p. 22–25, 2010.

GOMES, R. V.; MENDES, A. N. F. Ensino de História da Química: Uma Proposta Didática para abordagem da Construção Histórica da Tabela Periódica na nova modalidade da EJA. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 20., 2021. **Anais...** Recife, 2021.

HABASHI, F. Gmelin and his Handbuch. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 34, n. 1, p. 30, 2009.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science and Education**, v. 20, n. 3, p. 293–316, 2011.

JANTCHC, G. X.; SILVA, T. A. DA. O uso do Software QuipTabela 4.01 na aplicação de uma sequência didática envolvendo propriedades periódicas e ligações peptídicas: uma proposta interdisciplinar. **Anais do 20º Encontro Nacional de Ensino de Química**

(ENEQ Pernambuco). **Anais...** Recife, Pernambuco, 2020.

KAUFFMAN, G. B. From Triads to Catalysis: Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849) on the 150th Anniversary of His Death. **Chemical Educator**, v. 4, n. 5, p. 186–197, 1999.

KEAN, S. **A colher que desaparece: e outras histórias reais de amor e morte a partir dos elementos químicos**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

KOSMINSKY, L.; GIORDAN, M. Visões de Ciências e sobre cientista entre estudantes do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, n. 15, p. 11–18, 2002.

KRÜGER, A. G.; TEIXEIRA, M. L.; AIRES, J. A Tabela Periódica a partir da abordagem História e Filosofia da Ciência: análise de uma proposta didática. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 8., 2011. **Anais...** Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0101-1.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020>

KUNDLATSCH, A.; SILVA, C. S. DA. Análise da contribuição do desenho de estudantes sobre elementos químicos para o processo de ensino- aprendizagem. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0111-1.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020>

LABARCA, M.; QUINTANILLA-GATICA, M. R.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. El problema del grupo 3 de la Tabla Periódica: su enseñanza mediante la argumentación y la explicación científica: primera parte. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 28, 2022.

LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Metaphors we live by**. Chicago: University of Chicago Press, 1980.

LAVOISIER, A. L. **Tratado Elementar de Química**. São Paulo: Madras, 2007.

LEACH, M. R. **INTERNET Database of Periodic Tables | Chemogenesis**.

Disponível em: <[https://www.meta-synthesis.com/webbook/35\\_pt/pt\\_database.php?PT\\_id=1035](https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=1035)>. Acesso em: 14 jan. 2021.

LEONARDO JÚNIOR, C. S. et al. Primo Levi e a divulgação da Ciência em materiais multimídia de uma exposição museográfica. **Química Nova na Escola**, v. 43, n. 4, p. 336–343, nov. 2021.

LIMA, J. F. DE; PAULA, T. P.; MESSEDER, J. C. A Tabela Periódica na Educação de Jovens e Adultos: um relato das visões de contextualização de professores de química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016.

Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0422-1.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020>

LIMA, G. M.; BARBOSA, L. C. A.; FILGUEIRAS, C. A. L. Origens e consequências da Tabela Periódica, a mais concisa enciclopédia criada pelo ser humano. **Química Nova**, v. 42, n. 10, p. 1125–1145, 2019.

LIMA, K. DE O.; SILVA, G. M. DA; MATOS, M. S. Análise das dificuldades encontradas por alunos do Ensino Médio na construção de relações entre modelos atômicos, distribuição eletrônica e propriedades periódicas. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 15., 2010. **Anais...** Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0924-1.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020>

LIMA, W. F. et al. A robótica educacional no ensino de Química, elaboração, construção e aplicação de um robô imóvel no ensino de conceitos relacionados à tabela periódica. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 16., 2012. **Anais...** Salvador, 2012. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/download/7827/5552>. Acesso em: 16 jan. 2020>

LOPES, A. Jogo de Uno e Bingo para o ensino da Tabela periódica dos elementos químicos. Uno and Bingo game for teaching the Periodic Table of. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 11., 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R2410-1.pdf>. Acesso em 15 jan. 2020>

LOPES, C. B. et al. Racha a cuca: jogos lúdicos envolvendo símbolos e nomes dos elementos químicos. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

LORENZETTI, C. S.; DAMASIO, F.; RAICIK, A. O ano internacional da Tabela Periódica: Divulgação Científica e História da Ciência em pauta. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 20., 2020. **Anais...** Recife, Pernambuco, 2020.

LORENZETTI, C. S.; RAICIK, A. C.; DAMASIO, F. Divulgação Científica: Para quê? Para quem? — Pensando sobre a História, Filosofia e Natureza da Ciência em uma Revisão na Área de Educação Científica no Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 21, p. 1-27, 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, nov. 2022.

MAGALHÃES, A. S.; KOGAWA, J. **Pensadores da Análise do Discurso: uma**

introdução. 1. ed. Jundiaí: Paco Editorial, 2019.

MARCUSHI, L. A. **Produção textual: análise de gêneros e compreensão**. São Paulo: Parábola Editorial, 2008.

MEDEIROS, P. C. V. DE B. et al. Ensino Inclusivo da Tabela Periódica Química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 20., 2020. **Anais...** Recife, 2020.

MEHLECKE, C. DE M. **Um Estudo do Contexto Histórico das Contribuições de Mendeleev para Construção da Tabela Periódica em Livros Didáticos de Química para o Ensino Médio e Inserção deste Contexto em Sala de Aula**. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MENDELÉEFF, D. I. **The Principles of Chemistry**. [s.l.] Green, and Co., v. 1, 1897.

MONTENEGRO, J. A.; RODRIGUES, D. C. G. A. Desenvolvimento de uma Tabela Periódica Interativa como Aplicativo para o Ensino de Química. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 12., 2019. **Anais...** Natal, 2019.

MORAES, M. D. DE et al. Tabela Periódica para deficientes visuais usando o sistema computacional DOSVOX. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

NASCIMENTO, T. G. Contribuições da Análise do Discurso e da epistemologia de Fleck para a compreensão da Divulgação Científica e sua introdução em aulas de Ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 07, n. 2, p. 127–144, 2005.

NASCIMENTO, T. G. Definições de divulgação científica por jornalistas, cientistas e educadores em ciências. **Ciência em Tela**, v. 1, n. 2, p. 1–8, 2008.

NEWLANDS, J. A. R. On Relations among the Equivalents. **Chemical News**, v. 7, 1863.

NEWLANDS, J. A. R. Relations between equivalents. **Chemical News**, v. 10, 1864a.

NEWLANDS, J. A. R. On Relations among the equivalents. **Chemical News**, v. 10, 1864b.

NEWLANDS, J. A. R. On the Law of Octaves. **Chemical News**, v. 12, 1865.

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

- OKI, M. C. M. O Congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. **Química Nova na Escola**, n. 26, p. 24–28, 2007.
- OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072–1082, 2009.
- OLIVEIRA, A. L. et al. O Jogo Educativo como Recurso Interdisciplinar no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 2, p. 89–96, 2018.
- ORLANDI, E. P. **A Linguagem e seu Funcionamento**: as formas do discurso. 2. ed. Campinas: Pontes, 1987.
- ORLANDI, E. P. **Terra à vista**: discurso do confronto: velho e novo mundo. Campinas: Editora da Unicamp, 1990.
- ORLANDI, E. P. Discurso, imaginário social e conhecimento. **Em Aberto**, n. 61, p. 53–59, 1994.
- ORLANDI, E. P. **Interpretação**: autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico. Petrópolis: Vozes, 1998.
- ORLANDI, E. P. **Discurso e Texto**: formulação e circulação dos sentidos. 2. ed. Campinas: Pontes, 2005.
- ORLANDI, E. P. Análise de discurso. In: ORLANDI, E. P.; LAGAZZI-RODRIGUES, S. (Eds.). **Introdução às ciências da linguagem**: discurso e textualidade. 2. ed. Campinas: Pontes, 2010. p. 11–31.
- ORLANDI, E. P. **Análise de Discurso**: princípios e procedimentos. 10. ed. Campinas: Pontes Editores, 2012a.
- ORLANDI, E. P. **Discurso e Leitura**. 9. ed. São Paulo: Cortez, 2012b.
- PAGLIARINI, C. R.; ALMEIDA, M. J. P. M. Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 22, n. 2, p. 299–317, 2016.
- PÊCHEUX, M. **Semântica e discurso**: uma crítica à afirmação do óbvio. 5. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2014.
- 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.
- PÉREZ, D. G. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência &**

**Educação**, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.

PINTO, A. M. V. et al. O dialogismo em texto de divulgação em livro didático de Química: um aporte para a temática da tabela periódica. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 11., 2017. **Anais...** Florianópolis, 2017. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R2364-1.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020.>

POWNER, A. J. **Periodic Table & Periodic Law**. Disponível em: <[http://mr.powner.org/c/lessons/periodic\\_table\\_and\\_law.html](http://mr.powner.org/c/lessons/periodic_table_and_law.html)>. Acesso em: 5 jan. 2021.

PRIBERAM. **Tabela**, 2021a. (Nota técnica).

PRIBERAM. **Periódico**, 2021b. (Nota técnica).

PRIBERAM. **Confusão**, 2021c. (Nota técnica).

QUADROS, L. et al. Construção de Tabela Periódica e Modelo Físico do Átomo Para Pessoas com Deficiência Visual. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 8., 2011. **Anais...** Campinas: 2011. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R1482-3.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2020>

REIS, V. B.; MANGAS, M. B. P.; GOMES, V. B. Tabela Periódica: Proposta de uma Sequência Didática na Perspectiva CTS-ARTE. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

REZENDE, F. A. M. et al. RAIQUIZ: Discussão de Um Conceito de Propriedade Periódica por Meio de Um Jogo Educativo. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 3, p. 248–258, ago. 2019.

RIBEIRO, E. R. et al. Estratégias motivadoras para o ensino de química: propostas do Pibid para a ressignificação de conceitos. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

ROBILOTTA, M. R.; BABICHAK, C. C. Definições e conceitos em Física. **Caderno Cedes**, n. 41, p. 35–45, 1997.

ROCHA-FILHO, R. C.; CHAGAS, A. P. Os Pesos Atômicos Deixam de Ser Constantes: Dez Elementos Passam a Ter Intervalos de Pesos Atômicos. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 211–215, 2011.

ROUVRAY, D. H. The Surprising Periodic Table: Ten Remarkable Facts. In: HARGITTAI, B.; HARGITTAI, I. (Eds.). **Culture of Chemistry: The Best Articles on the Human Side of 20th-Century Chemistry from the Archives of the Chemical**

Intelligencer. New York: Springer, 2015. p. 183–193.

SÁ, M. B. Z.; VAISVILA, L. R. A Química em nosso quintal. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 17., 2014. **Anais...** Ouro Preto, 2014.

SANTOS, A. M. S. et al. Tabela periódica montável: Uma proposta lúdica para a construção de materiais didáticos. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em:  
<<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0677-1.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2020.>

SANTOS, B. V. F. et al. Utilização de uma cruzadinha como recurso didático no PIBID. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 20., 2020. **Anais...** Recife, 2020.

SANTOS, E. A. R.; JUNIOR, F. G. Jogos teatrais no ensino da Tabela Periódica para estudantes da Educação de Jovens e Adultos (EJA). In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em:  
<<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R1435-2.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.>

SANTOS, M. M.; ROITMAN, R.; BERNSTEIN, A. Inovação em sala de aula: como produzir um vídeo com recursos da Internet. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 16., 2012. **Anais...** Salvador, 2012. Disponível em:  
<<https://rigs.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/viewFile/7935/5704>. Acesso em: 16 jan. 2020>

SATURNINO, J. C. S. F.; LUDUVICO, I.; SANTOS, L. J. DOS. Pôquer dos Elementos dos Blocos s e p. **Química nova na escola**, v. 35, n. 3, p. 174–181, 2013.

SCERRI, E. R. **The Periodic Table: its story and its significance**. New York: Oxford University Press, 2007.

SEABORG, G. T. **Os elementos transurânicos sintetizados pelo homem**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1969.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. A Leitura Por Alunos do Ensino Médio de Um Texto Considerado de Alto Grau de Dificuldade. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 49–73, 2014.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Trechos de Bohr sobre Modelos Atômicos: indícios sobre como a Física é construída e possibilidade enquanto recurso didático. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 277–293, 2020.

SILVA, B.; CORDEIRO, M. R.; KIILL, K. B. Jogo Didático Investigativo: Uma Ferramenta para o Ensino de Química Inorgânica. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 1, p. 27–34, 2015.

SILVA, F. C. A.; SANTOS, R. I. O uso de Textos de Divulgação Científica para o ensino de Química no PROEJA. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 19., 2018. **Anais...** Rio Branco: 2018.

SILVA, H. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. O deslocamento de aspectos do funcionamento do discurso pedagógico pela leitura de textos de divulgação científica em aulas de física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, p. 1–25, 2005.

SILVA, E. L.; NASCIMENTO, H. H. F. Apagamento de uma trilha de descobertas desde Döbereiner: o efeito Mateus e o conhecimento dos professores. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 20., 2020. **Anais...** Recife, 2020.

SILVA, S. F. et al. Uma atividade lúdica no processo ensino aprendizagem na disciplina de Química no Ensino Médio. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2056-2.pdf>. Acesso em 15 jan. 2020>

SILVEIRA, T. A.; CARVALHO, M. R. A.; LEITE, B. S. Uso do Quiptabela no ensino de Química: uma análise à luz da teoria da instrumentação. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0460-1.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2020>

SOUSA, R. M. F. et al. Tântalo: Breve histórico, propriedades e aplicações. **Educación Química**, v. 24, n. 3, p. 343–346, 2013.

SOUZA, A. M. A.; MOZZER, N. B. Em busca da história perdida: Análise da aplicação de uma sequência de ensino centrada em um jogo didático sobre a Tabela Periódica. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 10., 2015. **Anais...** Águas de Lindóia, 2015. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1048-1.PDF>. Acesso em: 15 jan. 2020>

SOUZA, S. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Leituras na mediação escolar em aulas de Ciências: A fotossíntese em textos originais de cientistas. **Pro-posições**, v. 12, n. 1, p. 110–125, 2001.

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

TABELA PERIÓDICA. **Tabela Periódica**. Disponível em: <<https://www.tabelaperiodica.org/>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

TARGINO, A. R. L.; BALDINATO, J. O. Abordagem histórica da lei periódica nas coleções do PNLD 2012. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 4, p. 324–333, 2016.

TARGINO, A. R. L.; GIORDAN, M. Textos literários de divulgação científica no

ensino da lei periódica : potencialidades e limitações Literary texts of science popularization in the teaching of. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 10., 2015. **Anais...** Águas de Lindóia: 2015. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0565-1.PDF>>. Acesso em: 22 jan. 2020>

TARGINO, A. R. L.; GIORDAN, M. Textos literários de divulgação científica na elaboração de uma Sequência Didática sobre Tabela Periódica. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em: <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0347-1.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2020>

TEIXEIRA, I. M. et al. Da luneta de Galileu ao telescópio espacial Hubble: contributos do desenvolvimento tecnológico na divulgação da História da Astronomia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, 2022.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. Evolução histórica dos pesos atômicos. **Química Nova**, v. 17, n. 2, p. 182–187, 1994.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C.; CHAGAS, A. P. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. **Química Nova**, v. 20, n. 1, p. 103–117, 1997.

TOMA, H. E. AITP 2019 - Ano Internacional Da Tabela Periódica Dos Elementos Químicos. **Química Nova**, v. 42, n. 4, p. 468–472, 2019.

TRINDADE, L. S. P. et al. História da Ciência e Ensino: alguns desafios. In: BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. DOS S. P. (Eds.). **História da Ciência: tópicos atuais**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010. p. 119–132.

TRÓPIA, G. Reflexões sobre o discurso na divulgação neurocientífica. **Ciência & Ensino**, v. 2, n. 2, p. 1–9, 2008.

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, nov. 2019.

VILLAR, R. P.; KLEINKE, M. U.; COMPIANI, M. CiênciArte: uma abordagem artística e colaborativa para o ensino da tabela periódica. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 12., 2019. **Anais...** Natal, 2019.

WISNIAK, J. Henry Enfield Roscoe. **Educación Química**, v. 27, n. 4, p. 240–248, out. 2016.

WUILLDA, A. C. J. S. et al. Educação Ambiental no Ensino de Química: Reciclagem de caixas Tetra Pak na construção de uma tabela periódica interativa. **Química Nova na**

**Escola**, v. 39, n. 3, p. 268–276, 2017.

ZAMBONI, L. M. S. **Cientistas, Jornalistas e a Divulgação Científica**: subjetividade e heterogeneidade no discurso da divulgação científica. Campinas: Autores Associados, 2001.

ZANOTELLO, M. Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do Ensino Superior. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, n. 4, p. 987–1013, 2011.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M.. Leitura de um texto de Divulgação Científica em uma disciplina de Física Básica na Educação Superior. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 15, n. 3, p. 113–130, 2013.

ZERGER, K. F.; MELO, M. M. R. DE; LUCA, A. G. Tabela periódica: elemento mediador para ensinar química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18., 2016. **Anais...** Florianópolis, 2016. Disponível em:  
<<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2338-1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020>

## ANEXO 1

Seções analisadas de KEAN, S. **A colher que desaparece: e outras histórias reais de amor e morte a partir dos elementos químicos**. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

### INTRODUÇÃO (p. 10 – 12)

“[...]”

A PARTIR DAQUELE ÚNICO ELEMENTO, eu aprendi história, etimologia, alquimia, mitologia, literatura, venenos forenses e psicologia.<sup>1</sup> E não foram as únicas histórias de elementos que colecionei, em especial depois que me envolvi em estudos científicos na faculdade e conheci alguns professores que tinham prazer em interromper suas pesquisas para um pequeno bate-papo científico.

Já formado em física e querendo fugir dos laboratórios para escrever, eu me sentia infeliz entre os cientistas jovens, sérios e talentosos em minhas aulas, que se dedicavam a experimentos de tentativa e erro de uma forma que jamais consegui. Passei cinco anos congelando em Minnesota e acabei recebendo um diploma com distinção acadêmica em física, mas, apesar de ter passado centenas de horas em laboratórios, memorizado milhares de equações e desenhado milhares de diagramas com rampas e polias sem atrito, minha verdadeira instrução veio das histórias que meus professores contavam. Histórias sobre Gandhi e Godzilla e de um eugenista que usou germânio para roubar um Prêmio Nobel. Sobre pessoas sufocando, em paz, com gás nitrogênio em ônibus espaciais. Sobre um ex-professor de minha faculdade que fazia experiências com um marcapasso movido a plutônio dentro do próprio peito, acelerando e reduzindo seu ritmo ao se aproximar de bobinas magnéticas gigantes e brincar com elas.

Eu me envolvi com todas essas histórias, e recentemente, enquanto refletia sobre o mercúrio durante um café da manhã, percebi que sempre existe uma história estranha, engraçada ou atemorizante relacionada aos elementos da tabela periódica. Ao mesmo tempo, a tabela é uma das grandes realizações intelectuais da humanidade. É tanto uma realização científica quanto uma história em quadrinhos, e resolvi escrever este livro para descascar todas as suas camadas, uma a uma, como as transparências em um livro-texto de anatomia que contam a mesma história em diferentes profundidades. Em seu nível mais simples, a tabela periódica é um catálogo com todos os diferentes tipos de matéria do nosso universo, os pouco mais de cem personagens que, com suas personalidades fortes, dão origem a tudo que vemos e tocamos. Seu formato também nos oferece pistas científicas de como essas personalidades se misturam umas com as outras nas multidões. Num nível um pouco mais complicado, a tabela periódica codifica todas as informações forenses sobre a origem de todos os tipos de átomo e quais átomos podem se fragmentar ou se transformar em átomos diferentes. Esses átomos se combinam naturalmente em sistemas dinâmicos como criaturas vivas, e a tabela periódica prevê como isso acontece. Prevê inclusive quais corredores de elementos nefastos podem prejudicar ou destruir coisas vivas.

Finalmente, a tabela periódica é uma maravilha antropológica, um artefato que reflete todos os aspectos maravilhosos, artísticos e medonhos dos seres humanos e a

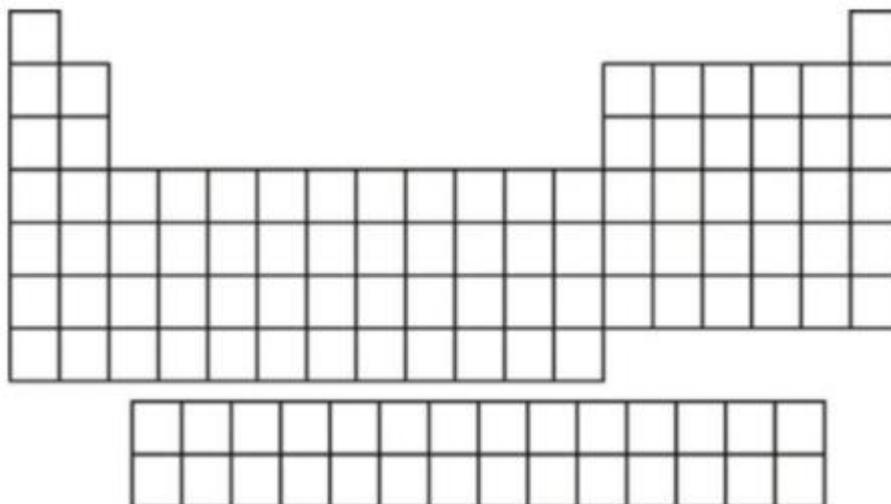
maneira como interagimos com o mundo físico – a história de nossa espécie narrada com um roteiro compacto e elegante. E ela merece ser estudada em cada um desses níveis, começando pelo mais elementar e evoluindo gradualmente em sua complexidade. Além de nos divertir, as histórias da tabela periódica fornecem uma forma de compreender o que nunca se vê nos livros-textos ou em manuais de laboratório. Nós comemos e respiramos a tabela periódica; pessoas apostam grandes quantias de dinheiro nela; filósofos a usam para sondar o significado da ciência; ela envenena pessoas e provoca guerras. Entre o hidrogênio no alto à esquerda e as impossibilidades produzidas pelo homem à espreita na parte inferior, pode-se encontrar bolhas, bombas, dinheiro, alquimia, politicagem, história, veneno, crime e amor. E até um pouco de ciência.”

### **1. Geografia como destino (p. 15 – 17)**

“AO PENSAREM NA TABELA PERIÓDICA, em geral as pessoas se lembram de um quadro pendurado na parede nas aulas de química da escola, um gráfico assimétrico cheio de colunas e linhas pairando sobre os ombros do professor. Normalmente era um painel enorme, de 2 metros de largura por 1,5 de altura, um tamanho tanto ousado quanto apropriado, dada sua importância para a química. Costumava ser apresentada em classe no início do período letivo e continuava relevante até o final, sendo a única informação científica que se podia consultar durante os exames, ao contrário das anotações de aula ou dos livros didáticos. Claro que a sensação de frustração que a gente talvez relacione com a lembrança da tabela periódica pode se originar no fato de que, apesar de estar livre e disponível para consulta, de funcionar como uma cola gigantesca e permitida, nada daquilo adiantava.

Por um lado, a tabela periódica parecia organizada e bem acabada, quase um fruto da engenharia alemã para o máximo de utilidade científica. Por outro, era uma confusão de números grandes, siglas e o que parecia para todo mundo mensagens de erro de um computador ( $[\text{Xe}]6s^24f^{15}d^1$ ), e era difícil não se sentir um pouco angustiado. E apesar de ficar claro que a tabela periódica tinha algo a ver com as outras ciências, como a física e a biologia, não era exatamente evidente como isso acontecia. Talvez a maior frustração para muitos estudantes era que algumas pessoas entendiam a tabela periódica, realmente desvendavam seu funcionamento e conseguiam deduzir tantos fatos com muita presunção e indiferença. É a mesma irritação que os daltônicos devem sentir quando pessoas que enxergam todas as cores localizam setes e noves disfarçados dentro de diagramas pontilhados em várias cores – uma informação crucial, porém escondida, que para eles nunca assume uma forma coerente. As pessoas se lembram da tabela com uma mistura de fascínio, afeto, inferioridade e aversão.

Antes de apresentar a tabela periódica, os professores deveriam remover toda a confusão de números e letras e fazer os alunos examinarem a coisa em branco.



O que isso parece? Uma espécie de castelo, com uma muralha principal desigual, como se as mansões reais ainda estivessem em construção na parte superior à esquerda, com grandes torres de defesa nas duas extremidades. Contém dezoito colunas irregulares e sete linhas horizontais, com uma “pista de pouso” de duas colunas extras debaixo de tudo. O castelo é feito de “tijolos”, e a primeira coisa não óbvia a respeito é que os tijolos não são intercambiáveis. Cada tijolo é um elemento, ou um tipo de substância (até o momento, 112 elementos formam a tabela, e ainda faltam alguns), e o castelo inteiro desmoronaria se esses tijolos não estivessem exatamente onde estão. Não é exagero: se os cientistas determinassem que um dos elementos de alguma forma poderia caber numa caixa diferente ou que dois elementos poderiam trocar de lugar, o edifício inteiro desmoronaria.

Outra curiosidade arquitetônica é o castelo ser feito de materiais diferentes em áreas diferentes. Isto é, nem todos os tijolos são feitos da mesma substância, nem apresentam as mesmas características. Setenta e cinco por cento dos tijolos são metais, o que significa que a maior parte dos elementos tem a forma de sólidos frios e cinzentos, pelo menos nas temperaturas a que os seres humanos estão acostumados. Algumas poucas colunas do lado oriental contêm gases. Apenas dois elementos, o mercúrio e o bromo, são líquidos à temperatura ambiente. Entre os metais e os gases, mais ou menos onde fica Kentucky no mapa dos Estados Unidos, encontram-se alguns elementos difíceis de definir, cuja natureza amorfa lhes confere propriedades interessantes, como a capacidade de formar ácidos bilhões de vezes mais fortes que qualquer coisa trancada em qualquer depósito de substâncias químicas. No todo, se cada tijolo fosse feito da substância que representa, um castelo feito desses elementos seria uma quimera, com anexos e asas de eras incongruentes ou, numa perspectiva mais caridosa, um projeto de Daniel Libeskind, a com materiais aparentemente incompatíveis combinados num conjunto elegante.

A razão para nos determos na planta das muralhas do castelo é que as coordenadas de um elemento determinam quase tudo cientificamente interessante sobre ele. Para cada elemento, sua geografia é o seu destino. Aliás, agora que você tem uma noção do significado do formato geral da tabela, posso utilizar uma metáfora mais útil: a tabela periódica é uma espécie de mapa. E para apresentá-lo com mais detalhe, vou analisar esse

mapa do leste para o oeste, passando por elementos bem conhecidos e por outros mais exóticos.”

### 3. As ilhas Galápagos da tabela periódica (p. 49 – 55)

“PODE-SE DIZER QUE A HISTÓRIA DA TABELA PERIÓDICA é a história dos muitos personagens que a moldaram. O primeiro deles tinha um desses nomes de livros de história, como dr. Guillotin, Charles Ponzi, Jules Léotard ou Étienne de Silhouette, que faz a gente sorrir e pensar se alguém realmente respondia a esses nomes. O pioneiro da tabela periódica merece um elogio especial, uma vez que o queimador que leva o seu nome, o bico de Bunsen, já deu origem a mais pegadinhas com calouros do que qualquer outro equipamento de laboratório na história. Por mais decepcionante que possa parecer, o químico alemão Robert Bunsen na verdade não “inventou” o bico de Bunsen, apenas aperfeiçoou o projeto e popularizou-o em meados dos anos 1800. Mas, mesmo sem o queimador, Bunsen conseguiu se envolver em muitos perigos e na destruição da própria vida.

O primeiro amor da vida de Bunsen foi o arsênio. Embora o elemento 33 goze de considerável reputação desde a Antiguidade (os assassinos romanos o injetavam em figos), poucos cientistas bem-comportados sabiam muito sobre o arsênio antes de Bunsen começar a despejá-lo em tubos de ensaio. Ele trabalhava principalmente com cacodilatos, substâncias à base de arsênio cujo nome se origina da palavra grega para “fedor”. Os cacodilatos cheiravam tão mal, dizia Bunsen, que provocavam alucinações, “produzindo um instantâneo formigamento nas mãos e nos pés, e até tonturas e insensibilidade”. A língua ficava “coberta por uma camada preta”. Talvez por interesse próprio, Bunsen logo desenvolveu o que até hoje ainda é o melhor antídoto para envenenamento por arsênio, o hidróxido férrico, uma substância relacionada com a ferrugem que adere ao arsênio e o expele do sangue. Mesmo assim, Bunsen não poderia ter se defendido contra todos os perigos. Uma casual explosão de uma proveta de arsênio quase arrancou seu olho direito e deixou-o parcialmente cego pelos últimos sessenta anos de vida.

Depois do acidente, Bunsen pôs o arsênio de lado e cedeu à sua paixão por explosões naturais. Ele adorava tudo que irrompia do solo, e por muitos anos estudou gêiseres e vulcões, coletando pessoalmente seus vapores e líquidos ferventes. Construiu também uma réplica de um gêiser do Parque Yellowstone em seu laboratório e descobriu como os gêiseres aumentam a pressão e explodem. Bunsen entrou para o departamento de química da Universidade de Heidelberg nos anos 1850 e logo garantiu a própria imortalidade ao inventar o espectroscópio, equipamento que usa a luz para estudar os elementos. Cada elemento da tabela periódica produz faixas de luzes coloridas estreitas e marcantes quando aquecido. O hidrogênio, por exemplo, sempre emite uma faixa vermelha, uma verde-amarelada, uma azul-clara e uma faixa anil. Se você aquecer alguma misteriosa substância que emita essas linhas específicas, pode apostar que contém hidrogênio. Foi uma grande descoberta, a primeira maneira de sondar componentes exóticos sem fervê-los ou desintegrá-los com ácido.

Para construir seu primeiro espectroscópio, Bunsen e um aluno montaram um prisma dentro de uma caixa vazia de charutos, para isolá-lo da luz ambiente, e encaixaram

dois visores de telescópios para olhar dentro da caixa, como um diorama. O único fator que até certo ponto limitava a espectroscopia era obter chamas com calor suficiente para excitar os elementos. Foi então que Bunsen inventou o dispositivo que o transformou em herói para qualquer um que já tenha derretido uma régua ou ateado fogo a um lápis. Ele pegou o queimador a gás primitivo de um técnico local e acrescentou uma válvula para ajustar o fluxo de oxigênio. (Se você já fuçou o botão na base de um bico de Bunsen, sabe do que se trata.) Como resultado, a chama do queimador deixou de ser aquela alaranjada ineficiente e bruxuleante para se transformar na chama azul concentrada e ruidosa que você vê nas bocas de fogão hoje em dia.

O trabalho de Bunsen fez com que a tabela periódica se desenvolvesse rapidamente. Embora ele se opusesse à ideia de classificar os elementos a partir de seus espectros, outros cientistas fizeram menos objeções, e de imediato a espectroscopia começou a identificar novos elementos. Importante também foi que o processo ajudou a selecionar entre alegações espúrias de descoberta velhos elementos disfarçados como substâncias desconhecidas. Essa identificação confiável botou os químicos no longo caminho em direção à meta final da compreensão da matéria em um nível mais profundo. Porém, além de encontrar novos elementos, os cientistas precisavam organizá-los em alguma espécie de árvore genealógica. E aí chegamos a outra grande contribuição de Bunsen à tabela – sua contribuição para a formação de uma dinastia intelectual científica em Heidelberg, onde ensinou muita gente responsável pelos primeiros trabalhos na busca de uma lei periódica. Isso inclui o nosso segundo personagem, Dmitri Mendeleiev, o homem aclamado pela criação da primeira tabela periódica.

Verdade seja dita, assim como Bunsen e o bico de Bunsen, Mendeleiev não criou a primeira tabela periódica sozinho. Seis pessoas inventaram-na de forma independente, e todas trabalharam a partir das “afinidades químicas” observadas pela primeira geração de químicos. Mendeleiev começou com a ideia rudimentar de como agrupar os elementos em pequenos conjuntos de sinônimos, depois transformou esses esboços de sistema periódico numa lei científica, algo muito parecido com o que fez Homero ao transformar mitos gregos dispersos na Odisseia. A ciência precisa de heróis, tanto quanto qualquer outro meio, e Mendeleiev tornou-se protagonista da história da tabela periódica por uma série de razões.

Uma das razões foi sua incrível biografia. Nascido na Sibéria, filho mais novo de catorze irmãos, Mendeleiev tinha treze anos em 1847, quando perdeu o pai. Corajosa para sua época, sua mãe assumiu uma fábrica de vidro local para sustentar a família e conseguiu que artesãos homens trabalhassem ali. Mas a fábrica pegou fogo. Depositando suas esperanças na inteligência do filho, ela o despachou na sela de um cavalo por quase 2 mil quilômetros através das estepes íngremes e cobertas de neve dos montes Urais para chegar a uma universidade de elite em Moscou – que rejeitou Mendeleiev por ele não ser natural da região. Inabalável, mamãe Mendeleiev botou o filho a cavalo de novo e viajou mais 650 quilômetros até a universidade onde seu pai havia estudado, em São Petersburgo. Assim que o viu matriculado, ela morreu.

Mendeleiev se revelou um estudante brilhante. Quando se formou, foi estudar em Paris e em Heidelberg, onde o eminente Bunsen o orientou por um tempo (as duas personalidades colidiram, em parte por Mendeleiev ser temperamental e em parte por

causa do notório laboratório de Bunsen, sempre ruidoso e fedido). Mendeleiev voltou a São Petersburgo como professor nos anos 1860 e lá começou a pensar na natureza dos elementos, trabalho que culminou em sua famosa tabela periódica de 1869.

Muitos outros estavam trabalhando no problema de como organizar os elementos, e alguns até chegaram a resolver a questão, embora de forma não definitiva, com a mesma abordagem de Mendeleiev. Na Inglaterra, em 1865, um químico de trinta e poucos anos chamado John Newlands apresentou sua suposta tabela para uma sociedade química. Mas um equívoco retórico foi a perdição de Newlands. Na época, ninguém sabia sobre os gases nobres (do hélio ao radônio), por isso as primeiras linhas de sua tabela periódica só tinham sete colunas. De uma forma um tanto excêntrica, Newlands comparou as sete colunas com o dó ré mi fá sol lá si da escala musical. Infelizmente, a plateia da Chemical Society of London não tinha nada de excêntrica e ridicularizou a proposta mambembe de Newlands.

O mais sério rival de Mendeleiev foi Julius Lothar Meyer, um químico alemão com uma barba branca desgrenhada e cabelos negros emplastrados. Meyer também trabalhou com Bunsen em Heidelberg e tinha credenciais profissionais de peso. Entre outras coisas, havia descoberto como as hemácias, as células vermelhas do sangue, transportavam oxigênio ao se ligar à hemoglobina. Meyer publicou sua tabela periódica praticamente na mesma época em que Mendeleiev, e, em 1882, os dois dividiram um prestigioso antecessor do Prêmio Nobel, chamado Davy Medal, pela descoberta simultânea da “lei periódica”. (Apesar de ser uma premiação inglesa, Newlands ficou de fora até 1887, quando afinal ganhou sua própria Davy Medal.) Enquanto Meyer continuava a realizar grandes trabalhos que aumentavam sua reputação – como ajudar a popularizar inúmeras teorias radicais que se provaram corretas –, Mendeleiev foi ficando meio rabugento, um sujeito esquisito que, por mais inacreditável que pareça, se recusava a acreditar na realidade dos átomos. (Mais tarde ele começou também a rejeitar outras coisas que não conseguia ver, como os elétrons e a radioatividade.) Se você observasse os dois homens por volta de 1880 e tentasse julgar qual era o grande químico teórico, provavelmente escolheria Meyer. Então, o que distinguia Mendeleiev de Meyer e dos outros quatro químicos que publicaram tabelas periódicas antes deles, ao menos sob o julgamento da história?

Primeiramente, mais do que qualquer outro químico, Mendeleiev entendeu que certas características dos elementos persistem, mesmo que isso não aconteça com outras. Ele percebeu que um composto como o óxido de mercúrio (um sólido cor de laranja) não “contém” um gás, o oxigênio, e um metal líquido, o mercúrio, como outros pensavam. Em vez disso, o óxido de mercúrio contém dois elementos que, quando separados, por acaso formam um gás e um metal. O que permanece constante é o peso atômico do elemento, que Mendeleiev acreditava ser sua característica definitiva, uma visão muito semelhante à atual.

Em segundo lugar, enquanto outros lutavam para organizar elementos em linhas e colunas, Mendeleiev, que trabalhou a vida inteira em laboratórios de química, tinha adquirido um conhecimento muito profundo de como os elementos eram, cheiravam e reagiam, em especial os metais, os elementos que se mostravam mais ambíguos e enredados a serem incluídos na tabela. Isso permitiu que incorporasse todos os 62

elementos conhecidos até então em linhas e colunas. Mendeleiev também revisou sua tabela de forma obsessiva, chegando a escrever os nomes dos elementos em pequenos cartões para jogar uma espécie de paciência química em seu escritório. Mais importante de tudo, enquanto tanto ele como Meyer deixaram espaços em branco onde nenhum elemento se encaixava na tabela, Mendeleiev, ao contrário do medroso Meyer, teve a coragem de prever o lugar onde os novos elementos se encaixariam. Procurem com mais afinco, químicos e geólogos, ele parecia instigar, pois vocês ainda vão encontrá-los. Ao rastrear as características dos elementos conhecidos ao longo de cada coluna, Mendeleiev chegou a prever as densidades e os pesos atômicos de elementos ainda não descobertos, e as pessoas ficaram estupefatas quando algumas previsões se mostraram corretas. Além disso, quando os cientistas descobriram os gases nobres, nos anos 1890, a tabela de Mendeleiev passou por um teste crucial, pois incorporou com facilidade os gases com o simples acréscimo de uma nova coluna. (Mendeleiev a princípio negou a existência dos gases nobres, mas aí a tabela periódica não era mais só dele.)

Outro fator a ser considerado era a personalidade fora do comum de Mendeleiev. Assim como seu contemporâneo russo Dostoiévski – que escreveu *O jogador* em três semanas para pagar dívidas de jogo –, Mendeleiev produziu sua primeira tabela para cumprir o prazo final de um editor de livros. Ele já havia escrito o primeiro volume de um livro didático, um tomo de quinhentas páginas, mas só havia chegado a oito elementos. Isso significava que teria de encaixar todos os demais no segundo volume. Depois de seis semanas de adiamentos, num momento de inspiração, Mendeleiev decidiu que a forma mais concisa de apresentar aquela informação era numa tabela. Entusiasmado, abandonou seu segundo emprego como consultor de química para fábricas de queijo locais para se dedicar à compilação da tabela. Quando o livro foi impresso, Mendeleiev não só tinha previsto que novos elementos iriam ocupar os espaços vazios deixados abaixo do boro e do silício, mas também dava nomes provisórios a eles. E sua reputação não poderia ter sido arranhada (as pessoas procuram gurus durante tempos incertos) pelo fato de ter usado um idioma místico e exótico para criar esses nomes, empregando a palavra em sânscrito para além: eka-silício, eka-boro e assim por diante.

Alguns anos depois, Mendeleiev, já famoso, divorciou-se da mulher e quis se casar de novo. Embora sua igreja local e conservadora tenha dito que ele teria de esperar sete anos, Mendeleiev subornou um padre e conseguiu se casar. Essa artimanha o transformou em um bígamo, mas ninguém se atreveu a prendê-lo. Quando um burocrata local foi se queixar com o czar sobre os dois pesos e duas medidas aplicados ao caso – o padre foi destituído –, o czar respondeu com afetação: “Eu reconheço que Mendeleiev tem duas esposas, mas eu só tenho um Mendeleiev.” Só que a paciência do czar tinha limites. Em 1890, Mendeleiev, um anarquista assumido, foi dispensado de seu cargo acadêmico por simpatizar com grupos violentos de estudantes esquerdistas.

É fácil entender por que historiadores e cientistas se apegaram à história de vida de Mendeleiev. Claro que ninguém se lembraria de sua biografia se ele não tivesse elaborado a tabela periódica. De modo geral, o trabalho de Mendeleiev é comparável ao de Darwin na evolução e ao de Einstein na relatividade. Nenhum deles fez todo o trabalho, mas sim a maior parte do trabalho, e fizeram isso de uma forma mais elegante que os outros. Eles viram até onde iam as consequências, sustentando suas descobertas com

resmas de evidências. E, assim como Darwin, Mendeleiev fez inimizades duradouras em seu trabalho. Dar nomes a elementos que nunca tinha visto era uma arrogância, e isso enfureceu o sucessor intelectual de Robert Bunsen – o homem que descobriu o “eka-alumínio” e que achava que ele, não aquele russo maluco, merecia o crédito e os direitos de batismo.”

## 6. Completando a tabela... com um estrondo (p. 98 – 100)

“[...]

As raízes dessa história retrocedem até a Universidade de Manchester, na Inglaterra, pouco antes da Primeira Guerra Mundial. Manchester contava com um grupo de cientistas brilhantes, que incluía o diretor de laboratório Ernest Rutherford, e talvez seu mais promissor aluno fosse Henry Moseley. Filho de um naturalista admirado por Charles Darwin, Moseley preferiu as ciências físicas. Costumava permanecer em seu laboratório como se estivesse numa vigília em um leito de morte, trabalhando por períodos de 15 horas consecutivas, como se nunca tivesse tempo suficiente para terminar tudo o que queria fazer, e sobrevivendo apenas de queijo e salada de frutas. Assim como muitas outras pessoas bem-dotadas, Moseley era um osso duro de roer, rígido e irascível, expressando abertamente seu desagrado com a “sujeira malcheirosa” que eram os estrangeiros em Manchester.

Mas o jovem Moseley podia ser perdoado por conta de seu talento. Embora Rutherford considerasse aquele trabalho uma perda de tempo, Moseley entusiasmou-se com o estudo dos elementos feito por bombardeios de feixes de elétrons. Em 1913, obteve a adesão do neto de Darwin, um físico, como parceiro e começou a sondar sistematicamente todos os elementos descobertos até o ouro. Como sabemos hoje, quando um feixe de elétrons colide com um átomo, o feixe expelle elétrons desse átomo, deixando um buraco. Os elétrons são atraídos pelo núcleo do átomo porque elétrons e prótons têm cargas opostas, e por isso arrancar elétrons de um núcleo é uma façanha violenta. E como a natureza abomina o vácuo, outros elétrons correm para preencher o buraco formado, e as colisões desse processo fazem com que raios X de alta energia sejam liberados. Foi empolgante quando Moseley descobriu uma relação matemática entre o comprimento de onda dos raios X, o número de prótons que um elemento tem em seu núcleo e o número atômico do elemento (sua posição na tabela periódica).

Desde sua publicação em 1869, a famosa tabela de Mendeleiev já havia passado por várias mudanças. Mendeleiev tinha organizado sua tabela de lado, até alguém mostrar que uma rotação de 90 graus fazia mais sentido. Os químicos continuaram a alterar a tabela, acrescentando colunas e reorganizando os elementos durante os quarenta anos seguintes. Mas algumas anomalias começaram a minar a confiança das pessoas no quanto elas realmente entendiam a tabela. A maior parte dos elementos se alinha na tabela numa ordem de peso crescente. Segundo esse critério, o níquel deveria preceder o cobalto. Mas, para os elementos se encaixarem de forma apropriada – de forma que o cobalto ficasse acima dos elementos afins com o cobalto e o níquel acima dos elementos afins com o níquel –, os químicos tiveram de trocar os dois de lugar. Ninguém sabia por que isso era necessário, e esse era apenas um entre vários casos irritantes. Para contornar o problema,

os cientistas inventaram o número atômico como uma espécie de assento numerado, o que só demonstrava que ninguém sabia o que o número atômico na verdade significava.

Com apenas 25 anos de idade, Moseley resolveu esse enigma transpondo a questão da química para a física. É importante levar em conta que poucos cientistas na época acreditavam na existência do núcleo atômico. Apenas dois anos antes, Rutherford havia lançado a ideia de um núcleo compacto e altamente positivo, mas até 1913 isso ainda não tinha sido provado, por ser especulativo demais para os cientistas aceitarem. O trabalho de Moseley forneceu a primeira confirmação. Como se recorda Niels Bohr, outro protegido de Rutherford: “Não conseguimos compreender isso hoje, mas [o trabalho de Rutherford] não foi levado a sério ... A grande mudança veio de Moseley.” Isso porque Moseley vinculou o lugar de um elemento na tabela a uma característica física, equacionando a carga nuclear positiva com o número atômico. E fez isso com um experimento que qualquer um poderia repetir. Isso provou que a ordem dos elementos não era arbitrária, mas sim resultado de uma compreensão adequada da anatomia atômica. De repente, casos distorcidos como os do cobalto e do níquel passaram a fazer sentido, já que o níquel, mais leve, tinha mais prótons, e por isso uma carga positiva mais alta, e portanto tinha de vir depois do cobalto. Se Mendeleiev e outros descobriram o Cubo Mágico dos elementos, Moseley resolveu o quebra-cabeça, e depois dele não houve mais necessidade de explicações rebuscadas.

Além disso, assim como o espectroscópio, o canhão de elétrons de Moseley contribuiu para ajustar a tabela periódica ao esclarecer um conjunto confuso de espécies radioativas e descartar alegações espúrias sobre a existência de novos elementos. Moseley apontou também quatro lacunas remanescentes na tabela – os elementos 43, 61, 72 e 75. (Em 1913, era caro demais obter amostras adequadas de elementos mais pesados que o ouro para experiências. Se tivesse acesso, Moseley teria encontrado lacunas nos elementos 85, 87 e 98 também.)”

## **7. Ampliando a tabela, expandindo a Guerra Fria (p. 115 – 117)**

“[...]

CONSTA QUE GLENN SEABORG teria o mais longo verbete do Who's Who de todos os tempos. Ilustre diretor em Berkeley. Químico ganhador do Prêmio Nobel. Cofundador da liga esportiva Pac-10. Consultor dos presidentes Kennedy, Johnson, Nixon, Carter, Reagan e Bush (George H.W.) em energia atômica e em corrida armamentista nuclear. Chefe de equipe do Projeto Manhattan. Etc. etc. Mas sua principal descoberta científica, a que havia despertado todas aquelas honrarias, foi resultado de pura sorte.

Em 1940, Edwin McMillan, colega e amigo de Seaborg, ficou muito conhecido ao criar o primeiro elemento transurânico, que ele batizou de netúnio, em homenagem ao planeta que vinhalogo depois do que deu origem ao nome do urânio. Não satisfeito, McMillan logo percebeu que o elemento 93 era bem instável e poderia decair no elemento 94 se expelisse outro elétron. Começou a procurar provas do elemento seguinte com muito afincio, e manteve o jovem Seaborg – um garoto magricela de 28 anos nascido no

Michigan e criado numa colônia de imigrantes suecos – a par de seus progressos, chegando a discutir suas técnicas enquanto tomavam duchas no ginásio esportivo.

Mas havia mais coisas além de novos elementos em 1940. Quando os Estados Unidos resolveram colaborar, ainda que na clandestinidade, com a resistência contra os poderes do Eixo na Segunda Guerra Mundial, o governo norte-americano começou a pescar cientistas de destaque, inclusive McMillan, para trabalhar em projetos militares, como o radar. Sem proeminência para ser escolhido, Seaborg ficou sozinho em Berkeley com o equipamento de McMillan e todo o conhecimento de como o colega planejava proceder. Às pressas, temendo que essa pudesse ser sua última oportunidade de ganhar fama, Seaborg e um colega conseguiram uma amostra microscópica do elemento 93. Depois de deixar o netúnio de molho e escorrer, eles filtraram a amostra radioativa para dissolver o excesso de netúnio, até restar apenas uma pequena parte da substância. Eles provaram que os átomos remanescentes tinham de ser do elemento 94 usando uma potente substância química para retirar elétrons da substância, um por um, até obterem átomos com uma carga elétrica mais alta (+7) do que qualquer outro elemento conhecido. Desde seus primeiros momentos, o elemento 94 parecia especial. Continuando a viagem em direção à orla do sistema solar – e acreditando que aquele seria o último elemento possível de ser sintetizado –, os cientistas o chamaram de plutônio.

Alçado de repente ao estrelato, em 1942, Seaborg foi convocado para ir a Chicago para trabalhar numa subsidiária do Projeto Manhattan. Ele levou alguns alunos e um técnico, uma espécie de superlacaio, chamado Al Ghiorso. Ghiorso tinha um temperamento oposto ao de Seaborg. Nas fotos, Seaborg está sempre de terno, mesmo no laboratório, enquanto Ghiorso parece desconfortável quando está arrumado, mais à vontade num cardigã e numa camisa com o colarinho desabotoado. Ghiorso usava óculos de lentes grossas e armação preta e o cabelo sempre emplastrado, e tinha o queixo e o nariz pontudos, um pouco como Nixon. Algo mais que o diferenciava de Seaborg é que Ghiorso era um contestador do establishment. (Ele teria odiado a comparação com Nixon.) Um pouco infantil, nunca foi além da graduação, pois não queria se sujeitar a mais estudos. Mesmo assim seguiu Seaborg com vigor a Chicago para fugir do monótono trabalho de manutenção da fiação dos detectores de radioatividade em Berkeley. Quando chegou, Seaborg o pôs para trabalhar de imediato – na fiação de detectores.

Mesmo assim, os dois deram certo. Quando voltaram a Berkeley depois da guerra (os dois adoravam a universidade), começaram a produzir elementos pesados, como publicou a *New Yorker*, “com uma frequência espetacular, se não até alarmante”. Alguns escritores compararam os químicos que descobriram novos elementos nos anos 1800 a caçadores de animais de grande porte, empolgando as massas que adoravam química com os exóticos espécimes que capturaram. Se essa elogiosa descrição for verdadeira, os grandes caçadores, com as armas mais poderosas para elefante, os Ernest Hemingway e Theodore Roosevelt da tabela periódica, foram Ghiorso e Seaborg – que descobriram mais elementos do que qualquer outro na história e ampliaram a tabela periódica em quase 1/6.”

**ANEXO 2**

Seções analisadas da obra MENDELÉEFF, D. I. The Periodic Law of the Chemical Elements. In: MENDELÉEFF, D. I. **The Principles of Chemistry**. Green and Co., 1897. p. 471 – 476.

**“THE PERIODIC LAW OF THE CHEMICAL ELEMENTS**

**By PROFESSOR MENDELÉEFF**

**FARADAY LECTURE DELIVERED BEFORE THE FELLOWS OF THE  
CHEMICAL SOCIETY IN THE THEATRE OF THE ROYAL INSTITUTION, ON  
TUESDAY, JUNE 4, 1889.**

The high honour bestowed by the Chemical Society in inviting me to pay a tribute to the world-famous name of Faraday by delivering this lecture has induced me to take for its subject the Periodic Law of the Elements--this being a generalisation in chemistry which has of late attracted much attention.

While science is pursuing a steady onward movement, it is convenient from time to time to cast a glance back on the route already traversed, and especially to consider the new conceptions which aim at discovering the general meaning of the stock of facts accumulated from day to day in our laboratories. Owing to the possession of laboratories, modern science now bears a new character, quite unknown not only to antiquity but even to the preceding century. Bacon's and Descartes' idea of submitting the mechanism of science simultaneously to experiment and reasoning has been fully realised in the case of chemistry, it having become not only possible but always customary to experiment. Under the all-penetrating control of experiment, a new theory, even if crude, is quickly strengthened, provided it be founded on a sufficient basis; the asperities are removed, it is amended by degrees, and soon loses the phantom light of a shadowy form or of one founded on mere prejudice; it is able to lead to logical conclusions and to submit to experimental proof. Willingly or not, in science we all must submit not to what seems to us attractive from one point of view or from another, but to what represents an agreement between theory and experiment; in other words, to demonstrated generalisation and to the approved experiment. Is it long since many refused to accept the generalisations involved in the law of Avogadro and Ampère, so widely extended by Gerhardt? We still may hear the voices of its opponents; they enjoy perfect freedom, but vainly will their voices rise so long as they do not use the language of demonstrated facts. The striking observations with the spectroscope which have permitted us to analyse the chemical constitution of distant worlds, seemed, at first, applicable to the task of determining the nature of the atoms themselves; but the working out of the idea in the laboratory soon demonstrated that the characters of spectra are determined--not directly by the atoms, but by the molecules into which the atoms are packed; and so it became evident that more verified facts must be collected before it will be possible to formulate new generalisations capable

of taking their place beside those ordinary ones based upon the conception of simple bodies and atoms. But as the shade of the leaves and roots of living plants, together with the relics of a decayed vegetation, favour the growth of the seedling and serve to promote its luxurious development, in like manner sound generalisations--together with the relics of those which have proved to be untenable--promote scientific productivity, and ensure the luxurious growth of science under the influence of rays emanating from the centres of scientific energy. Such centres are scientific associations and societies. Before one of the oldest and most powerful of these I am about to take the liberty of passing in review the 20 years' life of a generalisation which is known under the name of the Periodic Law. It was in March, 1869, that I ventured to lay before the then youthful Russian Chemical Society the ideas upon the same subject, which I had expressed in my just written "Principles of Chemistry."

Without entering into details, I will give the conclusions I then arrived at, in the very words I used:

"1. The elements, if arranged according to their atomic weights, exhibit an evident periodicity of properties.

"2. Elements which are similar as regards their chemical properties have atomic weights which are either of nearly the same value (e.g., platinum, iridium, osmium) or which increase regularly (e.g., potassium, rubidium, caesium).

"3. The arrangement of the elements, or of groups of elements in the order of their atomic weights corresponds to their so-called valencies as well as, to some extent, to their distinctive chemical properties--as is apparent among other series in that of lithium, beryllium, barium, carbon, nitrogen, oxygen and iron.

"4. The elements which are the most widely diffused have small atomic weights.

"5. The magnitude of the atomic weight determines the character of the element just as the magnitude of the molecule determines the character of a compound body.

"6. We must expect the discovery of many yet unknown elements, for example, elements analogous to aluminium and silicon, whose atomic weight would be between 65 and 75.

"7. The atomic weight of an element may sometimes be amended by a knowledge of those of the contiguous elements. Thus, the atomic weight of tellurium must lie between 123 and 126, and cannot be 128.

"8. Certain characteristic properties of the elements can be foretold from their atomic weights.

"The aim of this communication will be fully attained if I succeed in drawing the attention of investigators to those relations which exist between the atomic weights of dissimilar elements, which, as far as I know, have hitherto been almost completely neglected. I believe that the solution of some of the most important problems of our science lies in researches of this kind."

To-day, 20 years after the above conclusions were formulated, they may still be considered as expressing the essence of the now well-known periodic law.

Reverting to the epoch terminating with the sixties, it is proper to indicate three series of data without the knowledge of which the periodic law could not have been discovered, and which rendered its appearance natural and intelligible.

In the first place, it was at that time that the numerical value of atomic weights became definitely known. Ten years earlier such knowledge did not exist, as may be gathered from the fact that in 1860 chemists from all parts of the world met at Karlsruhe in order to come to some agreement, if not with respect to views relating to atoms, at any rate as regards their definite representation. Many of those present probably remember how vain were the hopes of coming to an understanding, and how much ground was gained at that Congress by the followers of the unitary theory so brilliantly represented by Cannizzaro. I vividly remember the impression produced by his speeches, which admitted of no compromise, and seemed to advocate truth itself, based on the conceptions of Avogadro, Gerhardt and Regnault, which at that time were far from being generally recognised. And though no understanding could be arrived at, yet the objects of the meeting were attained, for the ideas of Cannizzaro proved, after a few years, to be the only ones which could stand criticism, and which represented an atom as--"the smallest portion of an element which enters into a molecule of its compound." Only such real atomic weights--not conventional ones--could afford a basis for generalisation. It is sufficient, by way of example, to indicate the following cases in which the relation is seen at once and is perfectly clear:

$$\begin{array}{lll} \text{K} = 39 & \text{Rb} = 85 & \text{Cs} = 133 \\ \text{Ca} = 40 & \text{Sr} = 87 & \text{Ba} = 137 \end{array}$$

whereas with the equivalents then in use

$$\begin{array}{lll} \text{K} = 39 & \text{Rb} = 85 & \text{Cs} = 133 \\ \text{Ca} = 20 & \text{Sr} = 43,5 & \text{Ba} = 68,5 \end{array}$$

the consecutiveness of change in atomic weight, which with the true values is so evident, completely disappears.

Secondly, it had become evident during the period 1860-70, and even during the preceding decade, that the relations between the atomic weights of analogous elements were governed by some general and simple laws. Cooke, Cremers, Gladstone, Gmelin, Lenssen, Pettenkofer, and especially Dumas, had already established many facts bearing on that view. Thus Dumas compared the following groups of analogous elements with organic radicles:

$$\begin{array}{llll} \text{Diff.} & & \text{Diff.} & & \text{Diff.} & & \text{Diff.} \\ & & \text{Mg} = 12 \} & 8 & \text{P} = 31 \} & 44 & \text{O} = 8 \} & 8 \\ & & \text{Ca} = 20 \} & 3 \times 8 & \text{As} = 75 \} & 44 & \text{S} = 16 \} & 3 \times 8 \\ & & \text{Sr} = 44 \} & 3 \times 8 & \text{Sb} = 119 \} & 2 \times 44 & \text{Se} = 40 \} & 3 \times 8 \\ & & \text{Ba} = 68 \} & & \text{Bi} = 207 \} & & \text{Te} = 64 \} & \\ \text{Li} = 7 \} & 16 & & & & & & \\ \text{Na} = 23 \} & 16 & & & & & & \\ \text{K} = 39 \} & & & & & & & \end{array}$$

and pointed out some really striking relationships, such as the following:

$$F = 19.$$

$$Cl = 35.5 = 19 + 16.5.$$

$$Br = 80 = 19 + 2 \times 16.5 + 28.$$

$$I = 127 = 2 \times 19 + 2 \times 16.5 + 2 \times 28.$$

A. Strecker, in his work "Theorien und Experimente zur Bestimmung der Atomgewichte der Elemente" (Braunschweig, 1859), after summarising the data relating to the subject, and pointing out the remarkable series of equivalents

$$Cr = 26.2 \quad Mn = 27.6 \quad Fe = 28 \quad Ni = 29 \quad Co = 30$$

$$Cu = 31.7 \quad Zn = 32.5$$

remarks that: "It is hardly probable that all the above-mentioned relations between the atomic weights (or equivalents) of chemically analogous elements are merely accidental. We must, however, leave to the future the discovery of the law of the relations which appears in these figures."

In such attempts at arrangement and in such views are to be recognised the real forerunners of the periodic law; the ground was prepared for it between 1860 and 1870, and that it was not expressed in a determinate form before the end of the decade, may, I suppose, be ascribed to the fact that only analogous elements had been compared. The idea of seeking for a relation between the atomic weights of all the elements was foreign to the ideas then current, so that neither the vis tellurique of De Chancourtois, nor the law of octaves of Newlands, could secure anybody's attention. And yet both De Chancourtois and Newlands, like Dumas and Strecker, more than Lenssen and Pettenkofer, had made an approach to the periodic law and had discovered its germs. The solution of the problem advanced but slowly, because the facts, and not the law, stood foremost in all attempts; and the law could not awaken a general interest so long as elements, having no apparent connection with each other, were included in the same octave, as for example:

1st octave of Newlands ..	H	F	Cl	Co & Ni	Br	Pd	I	Pt & Ir
7th Ditto . . . .	O	S	Fe	Se	Rh & Ru	Te	Au	Os or Th

Analogies of the above order seemed quite accidental, and the more so as the octave contained occasionally 10 elements instead of eight, and when two such elements as Ba and V, Co and Ni, or Rh and Ru, occupied one place in the octave.[2] Nevertheless, the fruit was ripening, and I now see clearly that Strecker, De Chancourtois and Newlands stood foremost in the way toward the discovery of the periodic law, and that they merely wanted the boldness necessary to place the whole question at such a height that its reflection on the facts could be clearly seen.

A third circumstance which revealed the periodicity of chemical elements was the accumulation, by the end of the sixties, of new information respecting the rare elements, disclosing their many-sided relations to the other elements and to each other. The researches of Marignac on niobium, and those of Roscoe on vanadium were of special moment. The striking analogies between vanadium and phosphorus on the one hand, and between vanadium and chromium on the other, which became so apparent in the

investigations connected with that element, naturally induced the comparison of V = 51 with Cr = 52, Nb = 94 with Mo = 96, and Ta = 192 with W = 194; while, on the other hand, P = 31 could be compared with S = 32, As = 75 with Se = 79, and Sb = 120 with Te = 125. From such approximations there remained but one step to the discovery of the law of periodicity.

The law of periodicity was thus a direct outcome of the stock of generalisations and established facts which had accumulated by the end of the decade 1860-1870: it is an embodiment of those data in a more or less systematic expression. Where, then, lies the secret of the special importance which has since been attached to the periodic law, and has raised it to the position of a generalisation which has already given to chemistry unexpected aid, and which promises to be far more fruitful in the future and to impress upon several branches of chemical research a peculiar and original stamp? The remaining part of my communication will be an attempt to answer this question.

In the first place we have the circumstance that, as soon as the law, made its appearance, it demanded a revision of many facts which were considered by chemists as fully established by existing experience. I shall return, later on, briefly to this subject, but I wish now to remind you that the periodic law, by insisting on the necessity for a revision of supposed facts, exposed itself at once to destruction in its very origin. Its first requirements, however, have been almost entirely satisfied during the last 20 years; the supposed facts have yielded to the law, thus proving that the law itself was a legitimate induction from the verified facts. But our inductions from data have often to do with such details of a science so rich in facts, that only generalisations which cover a wide range of important phenomena can attract general attention. What were the regions touched on by the periodic law? This is what we shall now consider.

The most important point to notice is, that periodic functions, used for the purpose of expressing changes which are dependent on variations of time and space, have been long known. They are familiar to the mind when we have to deal with motion in closed cycles, or with any kind of deviation from a stable position, such as occurs in pendulum-oscillations. A like periodic function became evident in the case of the elements, depending on the mass of the atom. The primary conception of the masses of bodies or of the masses of atoms belongs to a category which the present state of science forbids us to discuss, because as yet we have no means of dissecting or analysing their conception. All that was known of functions dependent on masses derived its origin from Galileo and Newton, and indicated that such functions either decrease or increase with the increase of mass, like the attraction of celestial bodies. The numerical expression of the phenomena was always found to be proportional to the mass, and in no case was an increase of mass followed by a recurrence of properties such as is disclosed by the periodic law of the elements. This constituted such a novelty in the study of the phenomena of nature that, although it did not lift the veil which conceals the true conception of mass, it nevertheless indicated that the explanation of that conception must be searched for in the masses of the atoms; the more so, as all masses are nothing but aggregations, or additions, of chemical atoms which would be best described as chemical individuals. Let me remark by the way that though the Latin word "individual" is merely a translation of the Greek word "atom," nevertheless history and custom have drawn so sharp a distinction between

the two words, and the present chemical conception of atoms is nearer to that defined by the Latin word than by the Greek, although this latter also has acquired a special meaning which was unknown to the classics. The periodic law has shown that our chemical individuals display a harmonic periodicity of properties, dependent on their masses. Now, natural science has long been accustomed to deal with periodicities observed in nature, to seize them with the vice of mathematical analysis, to submit them to the rasp of experiment. And these instruments of scientific thought would surely, long since, have mastered the problem connected with the chemical elements, were it not for a new feature which was brought to light by the periodic law and which gave a peculiar and original character to the periodic function.”