

ASPECTOS HISTÓRICOS PARA O ENSINO DA TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Adriano Lopes Romero ¹
Marcia Borin da Cunha ²

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo contribuir para o processo de ensino e aprendizagem da Tabela Periódica (TP). Para isso, realizamos uma (breve) reconstrução histórica do desenvolvimento da TP, que foi construída a partir de uma pesquisa bibliográfica e documental, inserida na perspectiva da História da Ciência, que buscou a identificação de vestígios para poder depois coletá-los, organizá-los, analisá-los e interpretá-los. Nossa reconstrução histórica começa com Lavoisier, no século XVIII, passa por Mendeleev e seus contemporâneos, no século XIX, e termina com Seaborg e sua possível influência para a definição da TP recomendada pela IUPAC no final do século XX. O resgate histórico apresentado, ainda que esteja longe de abarcar todo o desenvolvimento da TP, pode ser utilizado tanto na educação básica, quanto na formação inicial e continuada de professores/as de Química.

Palavras-chave: Ensino de Química, História da Química, Sistema periódico.

INTRODUÇÃO

A tabela periódica (TP) dos elementos é uma pedra angular para o aprendizado da Química e uma ferramenta que serve para organizar toda a Química (SCERRI, 2007). Devido a isso, a TP foi (e continua sendo) um objeto de estudo em pesquisas de Química Teórica, História e Filosofia da Química, e Educação Química. Na perspectiva da Química Teórica, a existência de cerca de 1000 propostas (que se consideram diferentes) de representações gráficas de tabelas periódicas pode ser um indício da insatisfação dos praticantes da Química em relação à TP recomendada pela IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*). Na perspectiva da História e Filosofia da Química, a existência de um grande número de artigos e livros relacionados à TP reflete a necessidade de pensar a TP como um fato científico construído por vários/as personagens, em diferentes períodos e contextos. Na perspectiva da Educação/Ensino de Química, a existência de um grande número de artigos indica que o ensino da TP é um conteúdo importante no contexto da disciplina escolar de Química, nos mais variados níveis de ensino (DEMIRCIOĞLUA; DEMIRCIOĞLUA; ÇALIK, 2008).

¹ Docente do Departamento de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Campo Mourão, adrianoromero@utfpr.edu.br;

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – campus Cascavel, borin.unioeste@gmail.com.

Do ponto de vista conceitual, a TP é essencialmente uma extensão ou sistematização da existência de famílias de elementos com propriedades semelhantes. Em outro sentido, a TP é uma representação da Lei Periódica, na qual as propriedades dos elementos e seus compostos comparáveis são funções periódicas de seus pesos atômicos (e posteriormente números atômicos com os trabalhos de Moseley) (FERNELIUS, 1986).

Do ponto de vista educacional, a TP não é apenas um dos princípios básicos de organização, aos quais os estudantes são introduzidos, mas também um modelo central usado como ferramenta de indução. Além disso, a TP desempenha um papel significativo na compreensão dos elementos químicos e na previsão de suas características: estrutura e propriedades dos elementos e suas relações (DEMIRCIOĞLUA; DEMIRCIOĞLUA; ÇALIK, 2008).

A TP é (ou deveria ser) ensinada sob duas perspectivas: macroscópica (elemento químico) e submicroscópica (átomo). A visão macroscópica diz respeito aos nomes e símbolos dos elementos químicos, seu agrupamento em famílias, a presença de produtos químicos no ambiente, a universalidade dos elementos, algumas propriedades físicas e químicas dos elementos (tais como ponto de fusão, ponto de ebulição, e condutividade elétrica) e as várias tentativas de classificar os elementos ao longo da história (tais como as propostas de Lavoisier, Döbereiner, Newlands, de Chancourtois, Meyer, e Mendeleev; assim como de personagens posteriores a Mendeleev tais como Janet, Werner, e Seaborg). A perspectiva submicroscópica aborda as características que identificam um átomo (número atômico, número de massa e massa atômica), as partículas constituintes, alguns modelos atômicos (tais como os propostos por Dalton, Thomson, Rutherford, e Bohr) e algumas propriedades submicroscópicas (tais como raio e volume atômico, e a capacidade de capturar ou perder elétrons) (FRANCO-MARISCAL et al., 2016).

Apesar de sua relevância na Química, o estudo da TP, no contexto escolar, é desenvolvido sem que haja reflexões acerca dos fundamentos que a constituem, "[...] como a relação entre as propriedades dos elementos químicos e sua organização em forma de quadro" (RITTER; CUNHA; STANZANI, 2017, p. 359). Além disso, como relata Bierenstiel e Snow (2019), as instruções acerca da TP, como ilustram a literatura educacional atual e os livros introdutórios de Química, baseiam-se predominantemente nas perspectivas históricas tradicionais em conjunto com a teoria atômica da Química Quântica (ou seja, o princípio de Aufbau). Essa abordagem geralmente exige que os/as estudantes memorizem os nomes dos elementos e sua posição na TP, quando estes deveriam entender como os elementos foram posicionados em um determinado local.

As abordagens mencionadas anteriormente fazem com que os/as estudantes, muitas vezes, percebam o ensino e a consequente aprendizagem da TP como uma tarefa enfadonha e mecânica, e isso pode diminuir a motivação do/a estudante para continuar a estudar a Química (LEE et al., 2016).

Para superar as dificuldades relatadas na literatura, acerca do processo de ensino e aprendizagem da TP, muitas pesquisas têm sido realizadas, e se concentram em diferentes perspectivas (DEMIRCIOĞLUA; DEMIRCIOĞLUA; ÇALIK, 2008), tais como mudanças de ideias acerca da TP de elementos, desenvolvimento de materiais alternativos - atividades práticas, raciocínio analógico, ensino ativo, avaliação de sites da Internet com foco em TP, História e Filosofia da Ciência no desenvolvimento da TP, argumentação no contexto da lei periódica, e aprendizagem baseada em contexto. Visando contribuir para o ensino da TP, apresentamos um (breve) resgate histórico da TP, que pode ser utilizado tanto na educação básica, quanto na formação inicial e continuada de professores/as de Química.

METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e documental (SÁ-SILVA; ALMEIDA; GUINDANI, 2009, p. 6), que é diferenciada pela natureza das fontes: "[...] a pesquisa bibliográfica remete para as contribuições de diferentes autores sobre o tema, atentando para as fontes secundárias, enquanto a pesquisa documental recorre a materiais que ainda não receberam tratamento analítico, ou seja, as fontes primárias". Tal abordagem de pesquisa está inserida na perspectiva da História da Ciência na busca e identificação de "[...] vestígios para poder depois coletá-los, organizá-los, analisá-los e interpretá-los" (CRUZ, 2006, p. 168). Neste contexto, entendemos que "[...] os documentos constituem-se na matéria-prima, dado crucial da historiografia, mas não se constituem propriamente na história. Tornam-se história por meio da análise e interpretação" (CRUZ, 2006, p. 168).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

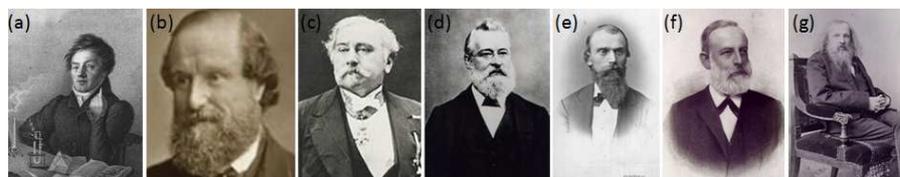
Parece haver certo consenso, entre os praticantes da Química, que o trabalho do químico russo Dimitri Ivanovichi Mendeleev {1834-1907, Figura 1(g)}, publicado em 1869, é considerado o marco inicial do desenvolvimento da TP. Tal fato levou a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) proclamar o ano de 2019 como o Ano Internacional da Tabela Periódica dos Elementos Químicos, cujo tema foi

endossado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), durante a assembleia realizada concomitantemente com a 40ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, que foi realizada em julho de 2017 em São Paulo (LEITE, 2019).

Ainda que o nome de Mendeleev apareça frequentemente associado ao da TP, vale ressaltar que vários personagens realizaram estudos no sentido de agrupar os elementos químicos de acordo com suas semelhanças, cujas tentativas deram origem a diferentes tipos de TPs. A maior parte desses trabalhos foi produzido no século XIX, mas uma importante contribuição vem ainda do século XVIII, com Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794), que em seu livro *Traité élémentaire de chimie* [Tratado Elementar da Química], publicado em 1789, apresentou uma tabela com 32 substâncias (nem todos elementos no sentido que consideramos hoje).

Do ponto de vista histórico podemos citar, pelos menos, seis outros pesquisadores anteriores à Mendeleev que estudaram a relação entre propriedades dos elementos e seus pesos atômicos (atualmente massa atômica): Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), William Odling (1829-1921), Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886), John Alexander Reina Newlands (1837-1898), Gustavus Detlef Hinrichs (1836-1923) e Julius Lothar Meyer (1830-1895) {Figura 1 (a-f), respectivamente}.

Figura 1 - Alguns personagens relacionados ao desenvolvimento da tabela periódica.



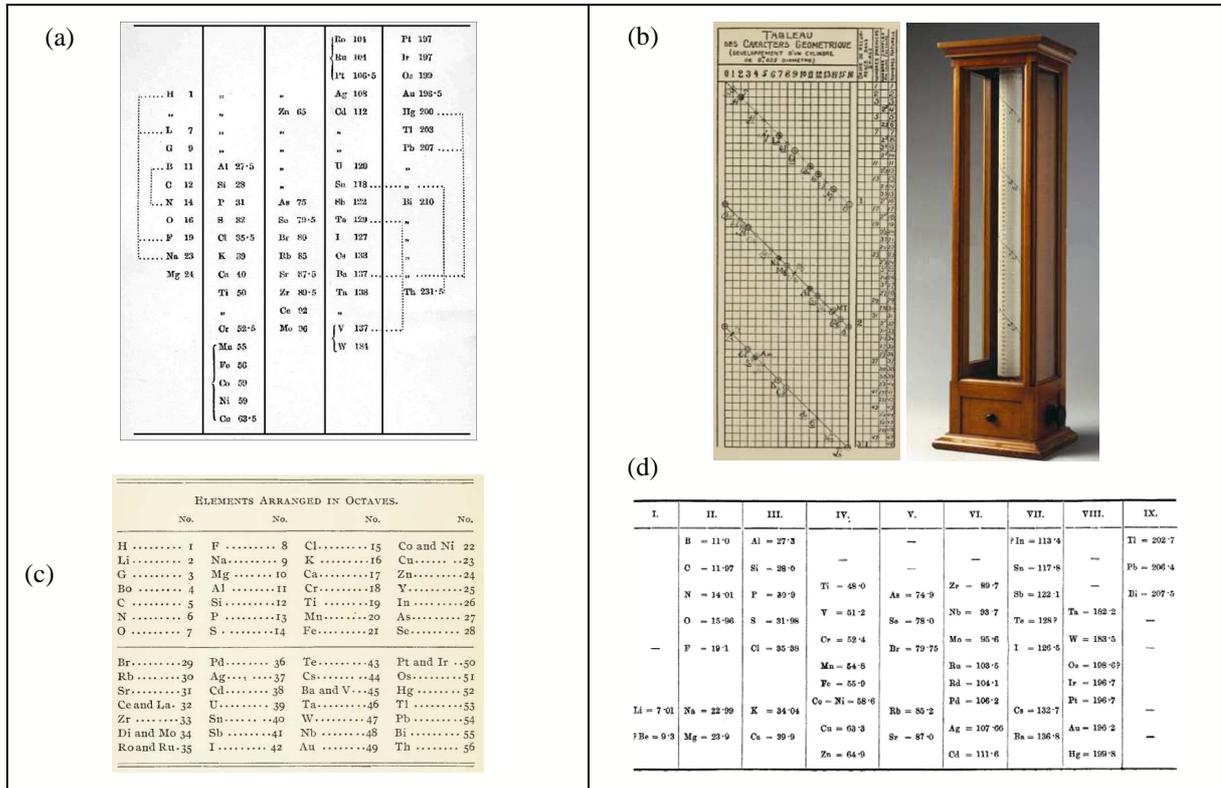
Fonte: Imagens retiradas da Wikipédia.

Podemos considerar o período anterior à publicação da primeira TP de Mendeleev, como um período no qual as diferentes contribuições permitiram amplas discussões, reflexões e, posteriormente, a receptividade por parte dos praticantes da Química. Algumas dessas contribuições, produzidas por diferentes personagens, foram sintetizadas em forma de tabela e/ou outra representação gráfica (Figura 2).

O químico alemão Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), Figura 1(a), contribuiu para a história da TP ao perceber que em determinados grupos de elementos intimamente relacionados uns aos outros em propriedades químicas, o peso atômico do elemento do meio é aproximadamente a média aritmética dos outros dois, Figura 2(a). Essa observação atraiu muita atenção, pois parecia mostrar uma lei numérica que rege o comportamento químico dos

elementos. A primeira explicação publicada de seu sistema de tríades apareceu no artigo *An Attempt to Group Elementary Substances According to Their Analogies* [uma tentativa de agrupar substâncias elementares de acordo com suas analogias] em 1829.

Figura 2 - Representações produzidas por personagens relacionados à história da tabela periódica.



Fonte: (a) TP de Chancourtois (VENABLE, 1896, p. 81); (b) TP de Odling (ODLING, 1864, p. 643); (c) TP de Newlands (VENABLE, 1896, p. 80); (d) TP de Meyer (BEDSON, 1896, p. 1417).

Utilizando os pesos atômicos conhecidos na época, Döbereiner notou que os elementos enxofre, selênio e telúrio constituíam uma tríade. Ele percebeu que esses elementos poderiam ser comparados: (i) a gravidade específica [densidade relativa] do selênio era a média aritmética das gravidades específicas do enxofre e telúrio e; (ii) os três elementos quando combinados com hidrogênio formam ácidos com propriedades semelhantes (PFISTER, 1962).

O químico inglês William Odling (1829-1921), Figura 1(b), publicou uma TP com 57 elementos {Figura 2(a)}, ordenados com base em seus pesos atômicos. Com algumas irregularidades e lacunas, ele percebeu o que parecia ser uma periodicidade dos pesos atômicos entre os elementos:

[...] sem dúvida, algumas das relações aritméticas exemplificadas nas tabelas e comentários anteriores são simplesmente acidentais; mas tomadas em conjunto, são numerosas demais e decidiram não depender de alguma lei geral até então não reconhecida (ODLING, 1864, p. 648, tradução nossa).

O geólogo francês Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1820-1886), Figura 1(c), publicou em 1862, um arranjo tridimensional que denominou de vis tellurique (parafuso telúrico), Figura 2(b), que utilizava as massas atômicas dos elementos químicos como um dos critérios de organização. Esse arranjo permitiu-lhe perceber que existia uma periodicidade de sete em sete membros. O diagrama representa uma hélice desenhada em um cilindro circular, com uma inclinação constante de 45° em relação ao eixo. No parafuso telúrico as massas atômicas dos elementos são apresentadas na parte externa de um cilindro, de modo que uma volta completa correspondeu a um aumento de peso atômico de 16. Como pode ser observado na Figura 2(b), essa disposição significa que elementos com propriedades semelhantes aparecem em linhas verticais. Embora o parafuso telúrico não exibisse corretamente todas as tendências que eram conhecidas na época, de Chancourtois foi o primeiro a usar um arranjo com todos os elementos conhecidos (PFISTER, 1962).

O químico inglês John Newlands (1837-1898), Figura 1(d), ao ordenar os elementos químicos conhecidos à época em ordem crescente de suas massas atômicas observou que havia uma repetição de propriedades a cada conjunto de 8 elementos, como pode ser observado na Figura 2(c). Após a ordenação, os elementos químicos foram numerados em ordem crescente com números ordinais (antecipando-se ao conceito de número atômico que utilizamos atualmente), começando pelo hidrogênio ($H = 1$) e terminando em Tório ($Th = 56$) (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Newlands observou que as massas atômicas de muitos pares de elementos químicos com propriedades análogas eram múltiplos de 8. A essa observação, em analogia as notas musicais, Newlands atribui o nome de “Lei das Oitavas” [Em tese trata-se de uma lei periódica], que estabelecia que os elementos químicos, dispostos em ordem crescente de suas massas atômicas, exibiam propriedades análogas em determinados grupos e que essas propriedades se repetiam no oitavo elemento (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

A analogia utilizada por Newlands entre a periodicidade dos elementos químicos e as escalas musicais é atribuída, por historiadores da Ciência, aos conhecimentos musicais do referido personagem (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997; KEDROV, 1966-1967). No entanto, tal analogia não foi bem recebida pela comunidade científica da época. Em 1866, por exemplo, ao apresentar sua pesquisa durante uma comunicação oral na *Chemical Society*, um dos químicos presentes, George Carey Foster (1835-1919), fez uma pergunta irônica. Foster questionou se Newlands tentou classificar os elementos em ordem alfabética (KEDROV, 1966-1967; TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997). Além disso, na mesma seção, John Hall Gladstone (1827-1902) fez uma objeção ao estudo de Newlands, uma

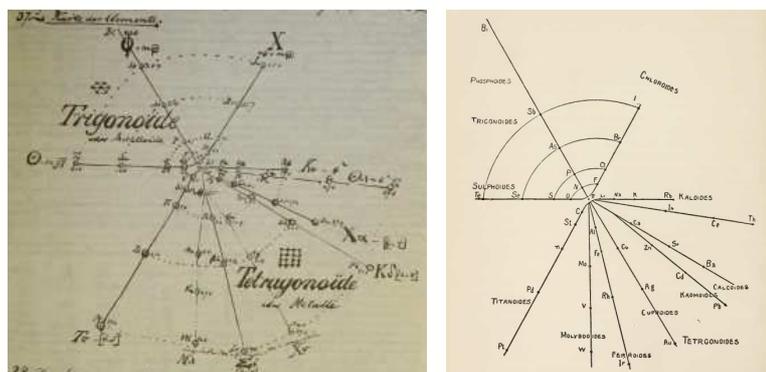
vez que o mesmo assumia que nenhum elemento restava a ser descoberto. Os dois episódios foram relatados, pelo vice-presidente da Chemical Society Alexander William Williamson (1824-1904), no periódico *Chemical Society* publicado em 9 de março de 1866 (WILLIAMSON, 1866).

O químico dinamarquês Gustavus Detlef Hinrichs (1836-1923) estudou os espectros de vários metais e observou-se que as linhas escuras dos elementos são equidistantes em todo o espectro, mas de intensidade variável, muitas não sendo observadas (ou observáveis); os intervalos entre as linhas observáveis são expressas como múltiplos simples da mesma distância indicada por todos.

Hinrichs abriu seu segundo artigo em 1864, da seguinte forma: "Assim que ouvi falar da grande descoberta de Kirchhoff e Bunsen, tive certeza de que as linhas escuras dos elementos seriam distribuídas de acordo com leis simples, e que essas leis poderiam levar-nos a conhecer as dimensões relativas dos átomos". A conclusão de Hinrichs foi que a distribuição de linha tinha uma regularidade que, por sua vez, prometia grandes divulgações sobre a natureza dos próprios átomos. Além disso, essa nova abordagem lhe parecia uma verdadeira fortificação contra os críticos de suas ideias sobre classificação de elementos, que vinham se desenvolvendo há quase uma década (ZAPFFE, 1969, p. 469).

O sistema de Hinrichs é baseado na relação do que ele chamou de pantogênio, com seus átomos chamados *panátomos*, o que explica as relações numéricas dos pesos atômicos e fornece uma classificação simples dos elementos. Esse sistema de classificação culminou em 1867 em sua TP espiral (Figura 3), que melhor esclareceu os agrupamentos de elementos. A classificação de Hinrichs, embora seja diferente das outras tabelas periódicas daquele período, parece capturar muitas das relações de periodicidade primárias vistas na tabela periódica moderna (ZAPFFE, 1969).

Figura 3 - Classificação periódica proposta por Hinrichs em 1867.



Fonte: Venable (1896, p. 88).

Os raios marcam os gêneros e a espiral que os cortam marca os elementos, sendo a distância da espécie ao centro proporcional ao seu peso atômico. Π , o símbolo do pantôgenio, é colocado no centro do gráfico (VENABLE, 1896).

O químico alemão Julius Lothar Meyer (1830-1895), Figura 1(f), publicou várias tabelas {Figura 2(d)} na tentativa de entender a relação entre propriedades físico-químicas e as massas atômicas, das quais tirou as seguintes conclusões: (1) se os elementos fossem organizados em ordem de suas massas atômicas, uma mudança regular e contínua de valência à medida que passamos de uma família para família pode ser observada; e (2) que as diferenças de massas atômicas na mesma coluna eram, a princípio, aproximadamente 16, exceto berílio, depois aumentaram para aproximadamente 46 e, finalmente, se aproximaram de um número entre 87 e 90.

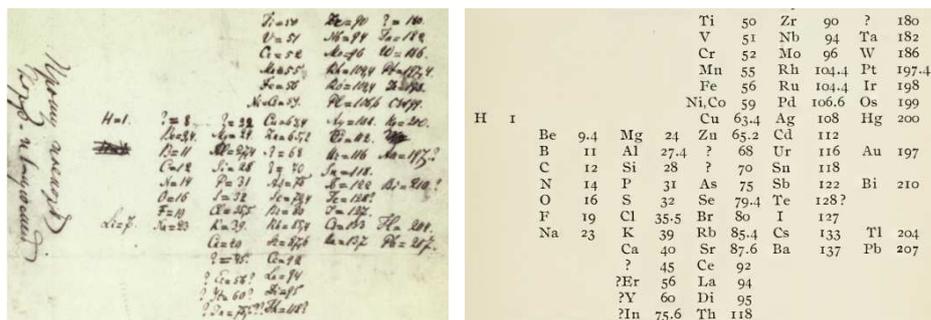
A primeira TP produzida por Meyer continha apenas 28 elementos, organizados por sua valência. Esses elementos eram quase inteiramente elementos do grupo principal, mas em 1868 ele incorporou os metais de transição em uma tabela mais elaborada. Essa tabela de 1868 listou os elementos em ordem de peso atômico, com elementos com a mesma valência dispostos em linhas verticais, notavelmente semelhantes à TP de Mendeleev. Infelizmente para Meyer, seu trabalho não foi publicado até 1870, um ano após a publicação da TP de Mendeleev. Mesmo depois de 1870, Meyer e Mendeleev ainda desconheciam o trabalho um do outro, embora Meyer tenha admitido mais tarde que Mendeleev havia publicado primeiro.

Em relação ao trabalho de Mendeleev, a ideia de produzir um sistema de classificação e organização dos elementos químicos surgiu enquanto escrevia um livro didático de Química - *Osovy Khimi* [Princípios de Química] -, que foi publicado em russo (1869) e, posteriormente, traduzido para o alemão e o inglês (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997).

Muitos livros didáticos e de divulgação científica mencionam o episódio de que Mendeleev havia sonhado com a TP e ao acordar teria feito o esboço apresentado na Figura 4(a). Esse sonho, no entanto, é aparentemente ilusório, apesar de repetidas citações. Não só não há relato do sonho, mas as evidências se baseiam na história contada por um colega de Mendeleev. A análise, realizada por Kedrov (1966-1967), dos materiais disponíveis no museu criado em homenagem à Mendeleev indica que: (1) Mendeleev já havia organizado a TP antes do suposto sonho acontecer; e (2) um sonho muito plausivelmente ocorreu um pouco mais tarde, que representou uma representação melhorada da TP.

Mendeleev publicou, no dia 1 de março de 1869, a primeira versão de sua TP, Figura 4(b). Alguns dias depois, em 18 de março, uma versão melhorada de sua tabela foi apresentada à Sociedade Russa de Química em São Petersburgo.

Figura 4 - Esboço e primeira tabela periódica publicada por Mendeleev.



Fonte: Krotikov (1960, p. 626), Venable (1896, p 93).

Não apenas Mendeleev organizou os elementos da maneira correta, mas se um elemento aparecesse no lugar errado devido ao seu peso atômico, ele o movia para onde ele se encaixava com o padrão que havia descoberto. Por exemplo, a ordem do iodo (J) e telúrio (Te) deveria ser o contrário (ver a ordem desses elementos na Figura 3), baseados em pesos atômicos, mas Mendeleev viu que: o iodo era muito semelhante ao flúor, cloro, e bromo; e o telúrio era semelhante ao oxigênio, enxofre, e selênio, então ele fez alterações no esboço inicial.

Vale ressaltar que um diferencial da TP de Mendeleev, em relação às anteriores, foi deixar lacunas para elementos não descobertos. Ele até previu as propriedades de cinco desses elementos e seus compostos. Em alguns anos, a descoberta do gálio (Ga) por Paul Emile Lecoq de Boisbaudran (1875), escândio (Sc) por Lars Nilson (1879) e germânio (Ge) por Clemens Winkler (1886) validou suas previsões e trouxe amplo reconhecimento à sua TP. O quadro 1 apresenta uma comparação das propriedades do *eka*-alumínio previstas por Mendeleev e do gálio, que foi descoberto em 1875 por Paul Emile Lecoq (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2019).

Quadro 1 - Propriedades do *eka*-alumínio previstas por Mendeleev e do gálio (Ga) determinadas por Paul Emile Lecoq em 1875.

Propriedades	<i>eka</i> -alumínio	Gálio
Peso atômico	Cerca de 68	69,72
Densidade do sólido	6,0 g/cm ³	5,8 g/cm ³
Ponto de fusão	Baixo	29,78 °C
Valência	3	3
Método de descoberta	Provavelmente a partir de seu espectro	A partir de análise espectroscópica
Óxido	Fórmula Ea ₂ O ₃ , densidade 5,5 g/cm ³ . Solúvel em ácidos e bases.	Fórmula Ga ₂ O ₃ , densidade 5,88 g/cm ³ . Solúvel em ácidos e bases.

Fonte: Royal Society of Chemistry (2019, *online*).

Segundo Tolentino; Rocha-Filho; Chagas (1997, p. 107) a TP de Mendeleev apresentava alguns avanços científicos em relação à outras previamente elaboradas por outros personagens, pois:

[...] (a) Deixava alguns espaços vazios, prevendo a existência de elementos químicos ainda não conhecidos; (b) Levava em consideração várias propriedades físicas e químicas associadas aos elementos químicos (não apenas uma única propriedade como realizado anteriormente por outros personagens); (c) Permitia prever as propriedades físicas e químicas que estariam associadas aos elementos ainda não conhecidos e evidenciados na tabela proposta por Mendeleev, tais propriedades eram facilmente calculadas conhecendo as propriedades associadas aos elementos vizinhos, assim como dos elementos participantes do mesmo grupo.

Outros fatos que justificam a aceitação da TP de Mendeleev, em detrimento de outras produzidas anteriormente ou no mesmo período é sistematizada por Tolentino; Rocha-Filho; Chagas (1997, p. 108) ao afirmarem que Mendeleev “não apenas sistematizou e organizou dados, mas também reformulou, desdobrou, elaborou conceitos e relações fundamentais na Química”. Segundo esses autores, Mendeleev - utilizando dos conhecimentos produzidos por diferentes cientistas, entre eles Avogadro, Laurent, Gerhardt e Canizzarro - associou elemento a átomo e substância simples a molécula, assim como alterou o entendimento de corpo simples e composto de Lavoisier, para elemento e substância simples. Com essas mudanças, o elemento químico deixou de ser uma coisa palpável para ser um ente abstrato. Tais (re)elaborações produzidas por Mendeleev podem ser observadas em seu enunciado da Lei Periódica: “As propriedades das substâncias simples, a constituição de seus compostos, assim como as propriedades desses últimos, são uma função periódica dos pesos atômicos dos elementos” (TOLENTINO; ROCHA-FILHO; CHAGAS, 1997, p. 108).

Apesar de alguns livros didáticos, de divulgação científica e até mesmo artigos publicados em revistas especializadas indicarem a existência de controvérsia acerca da prioridade da TP, nossas (re)leituras de documentos originais e de publicações produzidas no período de desenvolvimento e aceitação da TP indicam que se houve uma disputa de prioridade está foi em relação à Lei Periódica e não pela TP. Neste contexto, a seguir apresentamos algumas evidências que reforçam nossa conclusão.

Apesar do esforço de Newlands em afirmar sua prioridade acerca do desenvolvimento da Lei Periódica (há vários registros nos quais Newlands questiona a prioridade desta Lei), em 1882 Mendeleev e Meyer receberam a Medalha Davy da *Royal Society* "por sua descoberta das relações periódicas dos pesos atômicos". Esse prêmio indica que os sistemas periódicos

produzidos, independentemente, por Mendeleev e Meyer foram melhor recebidos pelos praticantes da Química daquela época do que as propostas anteriores (entre elas a apresentada por Newlands).

Vale ressaltar que diferentes publicações daquele período fazem menção aos sistemas periódicos desenvolvidos por Newlands e por Mendeleev, sem mencionar as demais propostas. Como exemplo podemos citar o livro *Geometrical Illustrations of Newlands' And Mendelejeff's Periodic Law of the Atomic Weights of the Chemical Elements* [Ilustrações geométricas das leis periódicas de Newlands e de Mendeleev das massas atômicas dos elementos químicos] publicada pelo Reverendo Samuel Haughton em 1888.

Segundo Venable (1896, p. 84) o próprio Mendeleev afirmou que "[...] é possível que Newlands tenha, antes de mim, enunciado algo semelhante a lei periódica, mas o mesmo não pode ser dito sobre Meyer". Tal afirmação foi feita por Mendeleev durante uma conferência na *Chemical Society*, em junho de 1889, no qual ele abordou os 20 anos de desenvolvimento da Lei Periódica. Fica evidente ao ler o conteúdo da conferência apresentada por Mendeleev que sua principal contribuição foi a formulação da Lei Periódica, que segundo ele “[...] é uma generalização em Química que tem ultimamente atraído muita atenção” (MENDELEEV, 1889, p. 634).

Segundo Scerri (2015), a falta de uma posição acadêmica formal pode ter contribuído para a negligência do trabalho Newlands. Apesar disto, parece que a *Royal Society* reconsiderou sua posição em relação a Lei Periódica, pois, em 1887, Newlands recebeu a Medalha Davy “[...] pela descoberta da lei periódica dos elementos químicos”, cinco anos depois de Mendeleev e Meyer receberam o mesmo prêmio para a “mesma descoberta” (GIUNTA, 1999, p. 25).

Finalmente, em 1998, a *Royal Society of Chemistry* supervisionou a colocação da placa comemorativa azul no local de nascimento de Newlands, que possui a seguinte afirmação “descobridor da lei periódica para os elementos químicos” (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2019).

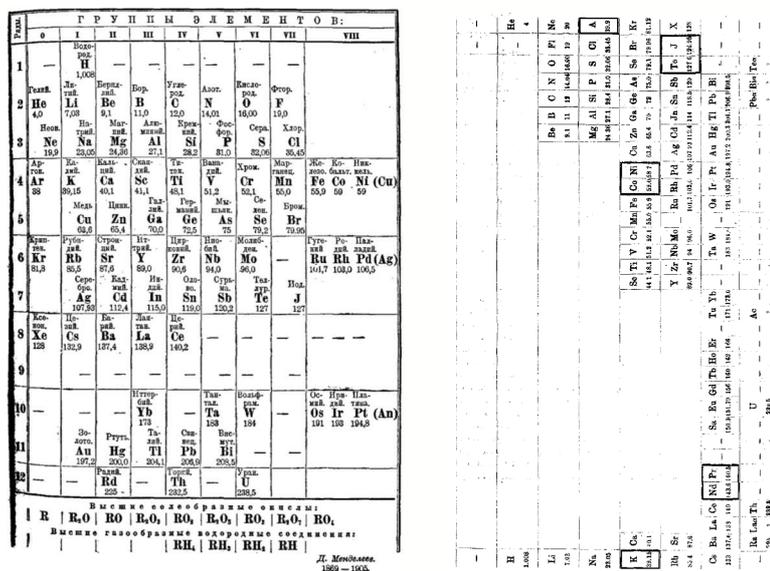
Também ao se fazer um regate histórico é possível observar que a descoberta dos gases nobres, durante a década de 1890, por William Ramsay parecia contradizer o trabalho de Mendeleev, até que ele percebeu que, na verdade, eles eram mais uma prova de seu sistema, encaixando-os no grupo 0 de sua TP (Figura 5). Isso deu à Tabela a periodicidade 8, que conhecemos atualmente.

Na Figura 5 é apresentada a última versão da TP produzida por Mendeleev, que foi publicada na oitava edição de seu livro *Princípios de Química*. Pode-se observar que essa versão

é ainda bastante diferente da TP que utilizamos atualmente. Em nível de comparação

apresentamos, ainda na Figura 5, a TP desenvolvida, também no ano de 1905, por Alfred Werner.

Figura 5 - Última versão da tabela periódica de Mendeleev (esquerda), e tabela periódica de Alfred Werner (direita), ambas produzidas em 1905.



The image shows two periodic tables from 1905. On the left is the final version of Dmitri Mendeleev's periodic table, titled 'ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ' (Groups of Elements). It features 8 groups and 12 periods, with elements arranged in order of increasing atomic weight. On the right is Alfred Werner's periodic table, which is more compact and features 32 columns. It also shows elements arranged in order of increasing atomic weight, with a different grouping scheme compared to Mendeleev's table.

Fonte: https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=464, Werner (1905, p. 916).

Podemos observar que a representação utilizada por Werner se assemelha à TP recomendada pela IUPAC (e que utilizamos até os dias atuais), na medida em que separa não apenas os metais de transição, mas também as terras raras em blocos separados, de modo a fornecer o que chamaríamos de "tabela de 32 colunas de formato longo". Apesar do *layout* dessa tabela ser muito próximo da que utilizamos atualmente, alguns erros foram cometidos por Werner ao prever: (i) errado o número de terras raras existentes, chegando ao número de 33 grupos e não 32 como conhecemos atualmente; (ii) a existência de um elemento entre H e He e dois elementos antes do H. Tais previsões foram constatadas como sendo impossíveis alguns depois com o trabalho do físico britânico Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915).

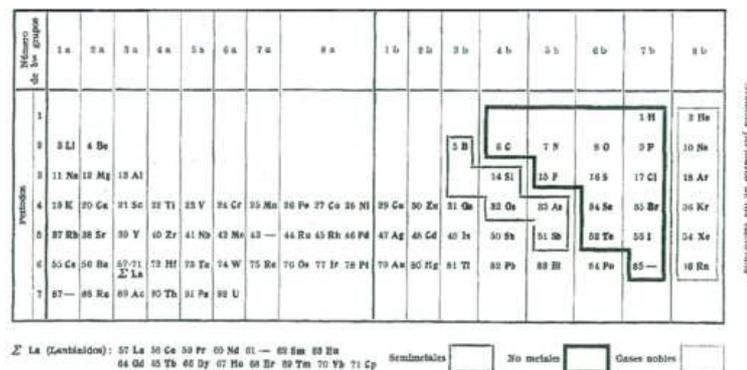
Ainda na perspectiva histórica podemos encontrar estudos de Moseley que realizou, em 1913, vários experimentos bombardeando raios X, produzidos por um aparelho recém desenvolvido, em amostras de elementos químicos e mediu o comprimento de onda dos raios X emitidos pelos átomos. A partir desses dados Moseley concluiu que quando a raiz quadrada da frequência associada aos raios X era plotada em relação ao número atômico, o gráfico mostrava uma linha reta perfeita. A partir desse estudo, Moseley encontrou uma maneira de realmente medir o número atômico. Quando a Primeira Guerra Mundial iniciou, Moseley

sendo morto por um franco-atirador na Turquia em 15 de agosto de 1915 (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2019).

No experimento realizado por Moseley, quando um elétron vai de um nível de energia mais alto para um mais baixo, a energia é liberada como ondas eletromagnéticas, neste caso, raios-X. A quantidade de energia que é liberada depende de quão fortemente os elétrons são atraídos pelo núcleo do átomo. Quanto mais prótons um átomo tiver em seu núcleo, mais fortemente os elétrons serão atraídos e mais energia será liberada. Hoje em dia se sabe que o número atômico é também conhecido como número de prótons, e é a quantidade de prótons que determinam a energia dos raios-X (ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2019).

É importante também destacar que (ao que é possível observar em nossos estudos) a TP de Werner foi esquecida por um determinado período, mas essa forma de representação retorna com o livro Práticas de Química de Inorgânica publicado em 1928 pelo químico alemão Ernst Hermann Riesenfeld (1877-1957) e, depois, nos trabalhos do químico estadunidense Glenn Theodore Seaborg (1912-1999).

Figura 6 - Sistema periódico dos elementos proposto por Riesenfeld em 1928.



Números de los grupos	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b		
1																		
2	3 Li	4 Be									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
3	11 Na	12 Mg	13 Al									14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 —	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57-71 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 —	86 Rn
7	87 —	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U												

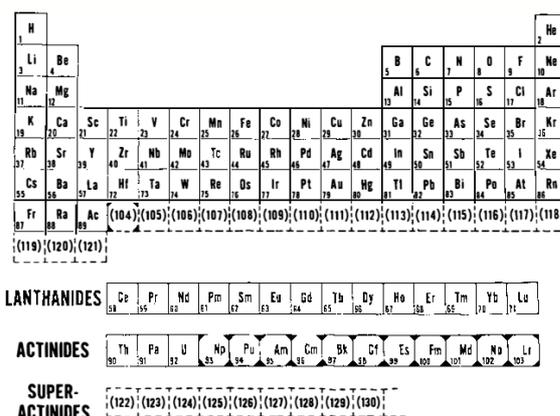
2 La (lantânios): 57 La 58 Ce 59 Pr 60 Nd 61 — 62 Sm 63 Eu
 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Cp

Semimetales No metais Gases nobres

Fonte: <http://www.xtec.cat/~bnavarr1/Tabla/castellano/riesenfeld.htm>.

A TP de Riesenfeld (Figura 6) possui algumas diferenças em relação às tabelas propostas por Werner (Figura 5) e Seaborg (Figura 7). O tecnécio, por exemplo, não aparece na representação de Riesenfeld, uma vez que foi descoberto em 1937. Mas, o mais interessante é que, ao fazer a separação entre subgrupos e grupos principais, o alumínio foi disposto no grupo 3A, deixando o boro isolado no grupo 3B sem nenhum elemento abaixo dele.

Figura 7 - Tabela periódica utilizado por Seaborg em seus artigos acerca de elementos transurânicos.



The figure shows Seaborg's periodic table. The main table includes elements from Hydrogen (1) to Oganesson (118). Below the main table are three separate rows for the f-block elements:

- LANTHANIDES:** Ce (58), Pr (59), Nd (60), Pm (61), Sm (62), Eu (63), Gd (64), Tb (65), Dy (66), Ho (67), Er (68), Tm (69), Yb (70), Lu (71).
- ACTINIDES:** Th (90), Pa (91), U (92), Np (93), Pu (94), Am (95), Cm (96), Bk (97), Cf (98), Es (99), Fm (100), Md (101), No (102), Lr (103).
- SUPER-ACTINIDES:** A row of elements with atomic numbers 122 through 130, enclosed in a dashed box.

Fonte: Seaborg (1968, p. 96).

Seaborg foi um pesquisador muito ativo, publicou cerca de 500 artigos científicos, 40 patentes e 30 livros. Ele contribuiu para o desenvolvimento do projeto Manhattan, no qual foi o responsável pela produção de grandes quantidades de plutônio. Trabalhou na síntese de dez elementos químicos transurânicos: plutônio, amerício, cúrio, berquélio, califórnio, einstênio, férmio, mendelévio, nobélio e seabórgio, que recebeu este nome em sua homenagem. Devido as suas contribuições na química dos elementos transurânicos ele foi agraciado com o prêmio Nobel de Química em 1951 (MATLIN; KRIEF, 2018).

Provavelmente a grande influência de Seaborg, entre os integrantes da Divisão de Nomenclatura e Representação de Estrutura da IUPAC, deve ter contribuído para que considerassem a TP utilizada por ele como a recomendada por essa organização.

Várias propostas de tabelas periódicas foram desenvolvidas, estima-se que haja cerca de 1000 diferentes representações gráficas para a classificação e ordenação dos elementos químicos. Uma das propostas que nos parece interessante para ser explorada no contexto educacional é a produzida pelo francês Charles Janet em 1828, que é organizada da seguinte forma:

[...] os elementos do bloco s estão localizados à direita, e as subcamadas da TP são organizadas na ordem $(n-3)s$, $(n-2)p$, $(n-1)d$, nf da esquerda para a direita. Ele acreditava que nenhum elemento mais pesado que o número 120 seria encontrado, então ele não previa um bloco g. Em termos de números quânticos atômicos, cada linha corresponde a um valor da soma $(n + \ell)$ onde n é o número quântico principal e ℓ o número quântico azimutal. A tabela, portanto, corresponde à regra de Madelung, que afirma que os sub-níveis atômicos são preenchidos em ordem crescente de valores de $(n + \ell)$. Ao estudar a construção da TP escalariforme de Janet observamos que alguns dos problemas existentes (entre eles, a posição dos elementos hélio, lutécio e lawrêncio) na TP oficial são solucionados. Além disso, na TP de Janet não há necessidade de interromper a sequência ou mover o bloco f para uma "nota de rodapé" (ROMERO; CUNHA, 2018, *online*).

Recentemente, Kurushkin (2017) explorou a TP de Janet (Figura 8) no artigo *Building the Periodic Table Based on the Atomic Structure* [Construindo a TP com base na estrutura atômica] para “[...] enfatizar a correlação entre a TP e a estrutura atômica dos elementos químicos, demonstrando a arquitetura da TP com base na estrutura atômica passo a passo” (p. 976).

Figura 8 - Representação da tabela periódica do tipo escalariforme produzida por Charles Janet em 1828.

The Periodic Table Step-by-Step

																		s		1
																		p		2
																		d		3
																		f		4
																		f		5
																		f		6
																		f		7
																		f		8

Fonte: Kurushkin (2017, p. 976).

Vale ressaltar que, as propostas de Charles Janet não são mencionadas nas duas revisões publicadas acerca da histórica da TP publicadas, no periódico *Química Nova*, por Melo Filho; Faria (1990) e Tolentino; Rocha-Filho; Chagas (1997) e, que com frequência são utilizadas como referência por autores de livros didáticos de Química, o que indica que esse autor e suas produções devem ser praticamente desconhecidas pelos/as integrantes da comunidade de Ensino de Química brasileiros (ROMERO; CUNHA, 2018). Destacamos que Charles Janet (1849-1932), engenheiro de formação, foi um cientista “amador”, mas de renome, publicou mais de cem artigos, a maioria acerca de temas relacionados à Geologia, Paleontologia, Botânica e Biologia geral, e apenas seis trabalhos acerca da classificação periódica dos elementos químicos. Na área de Química, os trabalhos de Janet são quase desconhecidos, em parte porque foram impressos em periódicos e livros com pouca distribuição, em parte porque ele não pertencia nem à comunidade de praticantes de Química nem à de Física, e em parte porque ele escreveu em língua francesa, que já estava perdendo seu destaque na publicação científica (ROMERO; CUNHA, 2018).

Há dez anos, provavelmente devido aos inúmeros questionamentos acerca da TP “aprovada” pela IUPAC, Jeffery Leigh, um membro da Divisão de Nomenclatura Química e Representação de Estrutura (IUPAC Divisão VIII), escreveu o artigo *Periodic tables and IUPAC* [Tabelas periódica e IUPAC]. Algumas informações apresentadas no referido artigo são importantes a serem consideradas em nossa discussão.

Leigh (2009) afirma que a IUPAC não aprovou nenhuma representação específica da TP, e uma representação aprovada pela IUPAC não existe. Segundo o autor até mesmo os

membros da IUPAC utilizam em suas publicações o dizer “Tabela periódica dos elementos da IUPAC”. O autor alerta que a única recomendação específica feita pela IUPAC em relação à TP abrange a numeração dos grupos de 1 a 18.

O autor discute que, por vários motivos, novas formas de TP estão sendo continuamente propostas. Um exemplo, apresentado no artigo, ainda que o devido crédito não tenha sido feito, é a TP de Carles Janet. A partir desse exemplo, o autor argumenta que é a pessoa que usa a tabela que deve determinar se ela atende aos seus requisitos (LEIGH, 2009). Leigh menciona que recebe muitas das novas versões de TP, geralmente com uma solicitação que a IUPAC considere sua aprovação formal. Leigh esclarece que a resposta da IUPAC, por meio da Divisão de Nomenclatura e Representação de Estrutura, é recusar qualquer proposta, independentemente do mérito (LEIGH, 2009).

Apesar desse posicionamento da IUPAC, Leigh (2009) recomenda que professores/as e outras pessoas não devem hesitar em desenvolver novas formas da TP e publicá-las, se assim o desejarem. No entanto, o autor alerta para não alterar a numeração recomendada dos grupos de 1 a 18, a menos e até que possam propor algo que atenda aos seus próprios critérios e aos da IUPAC para maior clareza, simplicidade e brevidade. O autor finaliza seu artigo indicando que os/as autores/as de novas propostas de TP devem abster-se de procurar a IUPAC para aprovação de sua representação, a menos que esses critérios sejam atendidos.

Além das referências citadas no presente capítulo, indicamos oito vídeos disponíveis no *YouTube* (Quadro 2), a maioria de curta duração, entre 8 a 20 minutos, que ilustram e complementam as discussões aqui apresentadas.

Quadro 2 - Indicação de vídeos que apresentam aspectos históricos da tabela periódica.

Título do vídeo	Duração aproximada	Link para acesso
Em busca dos elementos - Documentário	1h 53 min.	www.youtube.com/watch?v=xE9i6oHzBZc
Aula 24 - Documentário - História da tabela periódica	13 min.	www.youtube.com/watch?v=8QNLfwjzbZw
Dimitri Mendeleev e a Tabela Periódica dos Elementos Químicos	20 min.	www.youtube.com/watch?v=zcONtQeNfm0
Grandes Questões - O Sonho de Mendeleiev	19 min.	www.youtube.com/watch?v=VSmhJHT9pfw
História da Tabela Periódica - Antes de Mendeleev - Vídeo 1	9 min.	www.youtube.com/watch?v=51V6BIkAhvQ
História da Tabela Periódica - Antes de Mendeleev - Vídeo 2	8 min.	www.youtube.com/watch?v=4VZOSASGPgw
História da Tabela Periódica - Mendeleev e além - Vídeo 1	10 min.	www.youtube.com/watch?v=syuZUv-AjF8&t=29s
História da Tabela Periódica - Mendeleev e além - Vídeo 2	10 min.	www.youtube.com/watch?v=mqTqAbTdBs4

Fonte: Compilação feita pelos autores.

Os quatro últimos vídeos foram produzidos pelo professor David V. Black que mantém o site *The Elements Unearthed - Our Discovery and Usage of the Chemical Elements* [Os elementos desenterrados - nossa descoberta e uso dos elementos químicos], disponível em: elementsunearthed.com. Esses vídeos foram produzidos com a contribuição do filósofo e historiador da Química Eric Scerri, e apresentam muitas das tabelas originais produzidas no período de desenvolvimento inicial da TP, que estão compiladas no livro *Graphic representations of the periodic system during one hundred years* [Representações gráficas do sistema periódico durante cem anos] produzido por Edward G. Mazurs (1894-1983).

Considerações finais

Finalizamos esse capítulo muito distante de encerrar as discussões que se fazem necessárias para entendermos esse objeto de estudo nas mais variadas perspectivas do conhecimento. Apesar disso, acreditamos que o breve resgate histórico apresentado serve como base para produção de situações de ensino envolvendo aspectos históricos da TP para serem utilizadas por professores/as nos mais variados níveis de escolarização.

Como pôde ser observado a atribuição da “paternidade” da TP ao químico Mendeleev é bastante superficial e desconsidera todas as outras contribuições anteriores e posteriores à publicação de sua proposta de TP. Considerando uma perspectiva mais atual da Historiografia da Ciência, podemos considerar que a TP é um fato científico produzido por vários personagens, que viveram em diferentes períodos e contextos, e que contribuíram para seu desenvolvimento, e convencimento dos praticantes da Química.

Referências bibliográficas

BEDSON, P. P. Lothar Meyer memorial lecture. **Journal of the Chemical Society, Transactions**, v.69, p. 1403-1439, 1986.

BIERENSTIEL, M.; SNOW, K. Periodic universe: a teaching model for understanding the periodic table of the elements. **J. Chem. Educ.**, v. 96, n. 7, p. 1367-1376, 2019.

CRUZ, R. N. História e historiografia da ciência: considerações para pesquisa histórica em análise do comportamento. **Rev. Bras. Ter. Comport. Cogn.**, v. 8, n. 2, p. 161-178, 2006.

DEMIRCIOĞLUA, H.; DEMIRCIOĞLUA, G.; ÇALIKB, M. Investigating the effectiveness of storylines embedded within a contexto-based approach: the case for the Periodic Table. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 10, p. 241-249, 2009.

FERNELIUS, W. C. Some reflections on the periodic table and its use. **Journal of Chemical Education**, v. 63, n. 3, p. 263-266, 1986.

FRANCO-MARISCAL, A. J. et al. A game-based approach to learning the idea of chemical elements and their periodic classification. **J. Chem. Educ.**, v. 93, n. 7, p. 1173-1190, 2016.

GIUNTA, C. J. J. A. R. Newlands' classification of the elements: periodicity, but no system. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 24, p. 24-31, 1999.

KEDROV, B. M. On the question of the psychology of scientific creativity (On the occasion of the discovery by D. I. Mendeleev of the periodic law). **Soviet Psychology**, v. 5, n. 2, p. 18-37, 1966-1967.

KROTIKOV, V. A. The Mendeleev archives and museum of the Leningrad University. **Journal of Chemical Education**, v. 37, n. 12, p. 625-628, 1960.

KURUSHKIN, M. Building the Periodic Table based on the atomic structure. **Journal of Chemical Education**, v. 94, n. 7, p. 976-979, 2017.

LEE, CHANG-HUNG et al. Using a table tennis game, “Elemental Knock-Out”, to increase students’ familiarity with chemical elements, symbols, and atomic numbers. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 10, p. 1744-1748, 2016.

LEITE, B. S. O ano internacional da tabela periódica e o ensino de química: das cartas ao digital. **Química Nova**, v. 42, n. 6, p. 702-710, 2019.

LEIGH, G. J. Periodic tables and IUPAC. **Chemistry International**, v. 31, n. 1, 2009. Disponível em: <http://publications.iupac.org/ci/2009/3101/1_leigh.html>. Acesso em: 01 out. 2019.

MATLIN, S. A.; KRIEF, A. Glenn Seaborg, the periodic table and a Belgian NGO. **Chimie Nouvelle**, n. 129, p. 1-10, 2018.

MELO FILHO, J. M.; FARIA, R. B. 120 anos da classificação periódica dos elementos. **Química Nova**, v. 13, n. 1, p. 53-58, 1990.

MENDELÉFF, D. I. LXIII. The periodic law of the chemical elements. **Journal of the Chemical Society**, v. 55, p. 634-656, 1889.

ODLING, W. On the proportional numbers of the elements. **The Quarterly Journal of Science**, v. 1, n. 1-4, p. 642-648, 1864.

PFFISTER, R. L. **The historical development of the periodic classification of the chemical elements**. 1964. 40 f. Dissertação (Master of Science) - Department of Physical Science, Kansas State University, Manhattan.

RITTER, O. M. S.; CUNHA, M. B.; STANZANI, E. L. Discutindo a classificação periódica dos elementos e a elaboração de uma Tabela Periódica interativa. **Actio: Docência em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 359-375, 2017.

ROMERO, A. L.; CUNHA, M. B. A tabela periódica escalariforme de Charles Janet e algumas (tentativas de) adaptações ao longo dos anos. Simpósio Brasileiro de Educação Química, 16., 2018, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química, 2018.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Development of the periodic table**. Disponível em: <<https://www.rsc.org/periodic-table/history/about>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D. E GUINDANI, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2009.

SCERRI, E. R. **The Periodic Table: its story and its significance**. New York: Oxford University Press, 2007.

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

SEABORG, G. T. Elements beyond 100, present status and future prospects. **Annual Review of Nuclear and Particle Science**, v. 18, p. 53-152, 1968.

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.

VENABLE, F. P. **The development of the periodic law**. Easton, PA: Chemical Publishing Co., 1896.

WILLIAMSON, A. W. Proceedings of Societies - Chemical Society. **Chemical Society**, p. 113, 1866.

WERNER, A. Beitrag zum Ausbau dea periodisohen systems. **Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft**, v. 38, n. 1, p. 914-921, 1905.