



**UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL**

JULIANA MAGALHÃES CHARAMBA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÕES DAS MULHERES CIENTISTAS PARA A DESCOBERTA
DE ELEMENTOS QUÍMICOS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O
DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA**

**RECIFE
2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL**

JULIANA MAGALHÃES CHARAMBA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÕES FEMININAS PARA A DESCOBERTA DE ELEMENTOS
QUÍMICOS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA
TABELA PERIÓDICA**

Trabalho de dissertação apresentado à Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Química pelo Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional.

Orientador: Prof. Dr. Lucas dos Santos Fernandes

RECIFE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

S719c Souza, Juliana Magalhães Charamba de.

Contribuições femininas para a descoberta de elementos químicos e suas implicações para o desenvolvimento da tabela periódica / Juliana Magalhães Charamba de Souza. - Recife, 2024.

76 f.; il.

Orientador(a): Lucas dos Santos Fernandes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI), Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Mulheres - Cientistas. 2. Tabela periódica dos elementos químicos. 3. Elementos químicos. 4. Química - História I. Fernandes, Lucas dos Santos, orient. II. Título

CDD 540

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	05
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	09
2.1 DEFININDO TERMOS: ELEMENTO QUÍMICO, TABELA PERIÓDICA, LEI PERIÓDICA E SISTEMA PERIÓDICO.....	09
2.2 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA.....	11
2.2.1 A Lista de Elementos Químicos de Lavoisier e Dalton.....	11
2.2.2 As Tríades de Dobereiner e seus Desdobramentos.....	14
2.2.3 O Parafuso Telúrico de Chancourtois.....	17
2.2.4 Newlands e a Lei das Oitavas.....	19
2.2.5 As Relações Aritméticas entre os Pesos Atômicos de Odling.....	21
2.2.6 A Tabela Periódica Perdida de Meyer.....	22
2.2.7 Mendeleev e sua Tabela Periódica.....	24
2.2.8 Depois de Mendeleev.....	26
2.3 O ENSINO E A APRENDIZAGEM SOBRE TABELA PERIÓDICA.....	28
3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....	31
REFERÊNCIAS.....	32
4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO – FORMATO MULTIPAPER.....	36
5 PAPER 1 – A HISTÓRIA DA TABELA PERIÓDICA E DOS ELEMENTOS QUÍMICOS: UM OLHAR PARA A PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA.....	37
6 PAPER 2 – CONTRIBUIÇÕES DAS MULHERES CIENTISTAS PARA A DESCOBERTA DE ELEMENTOS QUÍMICOS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA.....	48
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
E-BOOK – MULHERES DESCOBRIDORAS DE ELEMENTOS QUÍMICOS.....	77
ANEXO A – Tabela Periódica da IUPAC.....	111
ANEXO B – Tabela Periódica da SBQ.....	112

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela inspiração e por sua infinita graça conduzindo o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu filho Oliver motivo pelo qual continuei firme mesmo nas dificuldades. Ao meu esposo e à minha família pelo incentivo, compreensão e paciência, nessa jornada acadêmica.

Ao Professor Dr. Lucas dos Santos Fernandes, pela confiança, compreensão e disponibilidade pela condução da pesquisa, pelas suas correções e incentivos.

RESUMO

No final do século XIX, as portas das universidades europeias começaram a se abrir para as mulheres. A consolidação do acesso feminino ao Ensino Superior em nível mundial ocorreu ao longo do século XX. A formação de mulheres cientistas influenciou o desenvolvimento científico e tecnológico nos últimos cem anos, e isso inclui a descoberta, a caracterização e os impactos ambientais e sociais envolvendo os Elementos Químicos (EQs). Essas pesquisas sobre os EQs foram importantes para a consolidação da Tabela Periódica (TP) como um dos maiores ícones da Ciência Moderna. Apesar dessas contribuições, os nomes das mulheres não figuram nas discussões históricas sobre a TP. O objetivo geral deste estudo foi resgatar a história das mulheres e suas contribuições para a descoberta de EQs e suas implicações para o desenvolvimento da TP. Nesse sentido, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais (2019-2024) e nos anais das duas últimas edições do Encontro Nacional de Ensino de Química (2021-2023) sobre a história da descoberta de EQs e da TP. Em seguida, foi realizada uma investigação histórica sobre as cientistas envolvidas na descoberta de EQs. Os resultados da pesquisa bibliográfica revelaram que as mulheres são pouco mencionadas nos estudos nacionais. Além disso, quando elas são citadas, verifica-se o esvaziamento de dados biográficos e a falta de discussões mais aprofundadas sobre as suas contribuições científicas. A pesquisa histórica identificou que catorze mulheres contribuíram para a descoberta de quatorze EQs: Marie Curie (polônio e rádio), Lise Meitner (protactínio), Ida Noddack (rênio), Marguerite Perey (frâncio), Yvette Cauchois (astato), Carol Alonso (seabórgio), Pirkko Eskola (dúbnio e rutherfordio), Dawn Shaughnessy (fleróvio, moscóvio, livermório, tennesso e oganessônio), Nancy Stoyer (fleróvio, moscóvio, livermório, tennesso e oganessônio), Julie Ezold (tennesso), Jacqueline Kenneally (fleróvio, livermório e oganessônio), Rose Boll (tennesso), Shelley VanCleve (tennesso) e Clarice Phelps (tennesso). Outras contribuições das mulheres foram fundamentais para a consolidação da TP, por questões de espaço neste resumo, duas serão mencionadas a seguir. Nesse sentido, pode-se citar Stefanie Horovitz (1887-1942) e Ellen Gleditsch (1879-1968). Horovitz produziu evidências determinantes para a existência dos isótopos. Ela realizou análises químicas quantitativas que demonstraram que o chumbo pode apresentar diferentes números de massa. Por sua vez, Gleditsch determinou a composição isotópica do cloro (cloro-35 e cloro-37) e evidenciou, a partir de amostras de diferentes países, que a proporção entre os isótopos de EQs que ocorrem na natureza não muda. A pesquisa identificou os nomes, as biografias e as contribuições científicas de várias cientistas para a descoberta de EQs e para a consolidação da TP. As informações levantadas neste estudo poderão ser utilizadas no ensino de Química visando a construção de conhecimentos e o desenvolvimento de uma imagem não deformada do trabalho científico que destaca a coletividade e a diversidade de gênero.

Palavras-Chave: Mulheres na Ciência; Tabela periódica; Elemento químico. História da Química.

ABSTRACT

At the end of the 19th century, the doors of European universities began to open to women. The consolidation of female access to higher education worldwide occurred throughout the 20th century. The training of women scientists has influenced scientific and technological development in the last hundred years, and this includes the discovery, characterization, and environmental and social impacts involving Chemical Elements (CEs). This research on CEs was important for the consolidation of the Periodic Table (PT) as one of the greatest icons of Modern Science. Despite these contributions, women's names do not appear in historical discussions about CEs. The general objective of this study was to recover the history of women and their contributions to the discovery of CEs and their implications for the development of CEs. In this sense, a bibliographic search was carried out in national journals (2019-2024) and in the annals of the last two editions of the National Meeting on Chemistry Education (2021-2023) on the history of the discovery of CEs and CEs. A historical investigation was then conducted into the scientists involved in the discovery of CEs. The results of the bibliographical research revealed that women are rarely mentioned in national studies. Furthermore, when they are mentioned, there is a lack of biographical data and a lack of in-depth discussions about their scientific contributions. Historical research has identified that fourteen women contributed to the discovery of fourteen CEs: Marie Curie (polonium and radium), Lise Meitner (protactinium), Ida Noddack (rhenium), Marguerite Perey (francium), Yvette Cauchois (astatine), Carol Alonso (seaborgium), Pirkko Eskola (dubnium and rutherfordium), Dawn Shaughnessy (flerovium, moscovium, livermorium, tennessine and oganessonium), Nancy Stoyer (flerovium, moscovium, livermorium, tennessine and oganessonium), Julie Ezold (tennessine), Jacqueline Kenneally (flerovium, livermorium and oganessonium), Rose Boll (tennessine), Shelley VanCleve (tennessine) and Clarice Phelps (tennessine). Other contributions by women were fundamental to the consolidation of PT; for reasons of space in this summary, two will be mentioned below. In this sense, we can mention Stefanie Horovitz (1887-1942) and Ellen Gleditsch (1879-1968). Horovitz produced decisive evidence for the existence of isotopes. She performed quantitative chemical analyses that demonstrated that lead can have different mass numbers. In turn, Gleditsch determined the isotopic composition of chlorine (chlorine-35 and chlorine-37) and demonstrated, from samples from different countries, that the proportion between the isotopes of EQs that occur in nature does not change. The research identified the names, biographies and scientific contributions of several scientists to the discovery of EQs and to the consolidation of PT. The information gathered in this study can be used in the teaching of Chemistry, aiming at the construction of knowledge and the development of an undistorted image of scientific work that highlights collectivity and gender diversity.

Keywords: Women in Science; Periodic table. Chemical element. History of Chemistry.

1 INTRODUÇÃO

A tabela periódica (TP) dos elementos químicos (EQs) é um dos maiores símbolos da Química. Ela acomoda atualmente os 118 EQs conhecidos em ordem crescente de número atômico distribuindo-os em 18 colunas (grupos ou famílias) e 7 linhas (períodos). A TP é a representação bidimensional da atual Lei Periódica. Essa Lei estabelece que os EQs, quando arranjados na ordem crescente de número atômico, se agrupam em famílias ou grupos com propriedades físicas e químicas semelhantes (Atkins; Jones; Laverman, 2018).

De acordo com Eiglmeier e Silveira (2021, p. 240), no ensino de TP, “Quando acontece a abordagem histórica, ela é associada como obra quase que exclusiva do químico russo Dmitri Mendeleev¹”. Evidentemente, Mendeleiev teve um importante papel na construção e na difusão da TP, mas ele não foi o único cientista que tentou sistematizar os EQs seguindo as suas propriedades químicas e físicas (Scerri, 2020). No entanto, as TPs construídas antes de Mendeleev não obtiveram o mesmo reconhecimento. Homens e mulheres vêm contribuindo desde o século XIX para o desenvolvimento da TP. Contudo, as contribuições que recebem maior destaque são quase sempre aquelas produzidas pelos homens (Freitas; Baldinato, 2023). O mesmo ocorre em relação à descoberta de EQs (Silva et al., 2024). Nesse sentido:

“[...] a ausência das mulheres e o respectivo silêncio em torno de sua presença na história e, por extensão, na história das ciências acabam por revelar, eles próprios, a associação hegemônica entre masculinidade e pensamento científico” (Bandeira, 2008, p. 209-210.).

Enquanto os estudos baseados na perspectiva Historiográfica da Ciência Tradicional² enfatizavam as contribuições de Mendeleiev, novas pesquisas

¹ Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907). Químico russo que chegou, em 1869, à versão mais celebrada da tabela periódica. Laureado em 1882 com a Medalha Davy pelo seu trabalho sobre a TP. Alguns autores em Língua Portuguesa também utilizam a grafia ‘Mendeleiev’ para referir-se ao químico russo. Os autores de Língua Inglesa utilizam a grafia ‘Mendeleev’.

² Perspectiva historiográfica padrão até o último quarto do século XX. Enfatizava uma visão de ciência linear e progressiva dentro de um modelo científico inspirado na Física e na Matemática. Essa perspectiva seleciona apenas as teorias, modelos e descobertas que são úteis e válidas do ponto de vista atual e busca os precursores, geralmente ‘pais’ da Ciência Moderna.

respaldadas em concepções da Historiografia da Ciência Contemporânea³ têm levantado o papel das mulheres para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP (Lykknes; Van Tiggelen, 2019). Nesse sentido:

As contribuições das mulheres para a Ciência incluem a descoberta de elementos e suas propriedades, o peso, a separação e a síntese de elementos e seus isótopos e a produção de conhecimentos sobre os efeitos dos elementos em humanos e seu ambiente (Lykknes; Van Tiggelen, 2019, p. 36, tradução da autora).

Corroborando com essa citação, podemos mencionar os nomes de Ida Noddack⁴, codescobridora do rênio e de suas propriedades físicas e químicas; Lise Meitner⁵, integrante da equipe que sintetizou o isótopo mais estável de protactínio; e Alice Hamilton⁶, médica e ativista que denunciou os efeitos toxicológicos do chumbo para seres humanos (Lykknes; Van Tiggelen, 2019).

Antes de Mendeleiev construir a sua versão da TP, sua compatriota, a química Julia Lermontova⁷ havia desenvolvido uma técnica analítica de separação dos metais do grupo da platina (rutênio, ródio, paládio, ósmio irídio e platina) (Boeck, 2019). Utilizando essa técnica os químicos da época determinaram os pesos atômicos desses metais. Conhecendo os pesos atômicos, Mendeleiev os posicionou corretamente em sua TP que organizava os EQs em ordem crescente do peso atômico.

³ Perspectiva historiográfica que questiona a linearidade e propõe a existência de rupturas no processo de construção do conhecimento. Procura valorizar o contexto e as ideias, modelos, teorias e descobertas do passado considerando a época em que surgiram. Desconsidera a ideia de grandes gênios e busca resgatar a história de personagens esquecidos como cientistas mulheres, negros, homossexuais, indígenas, etc.

⁴ Ida Noddack (1896-1978). Geoquímica alemã, codescobridora do rênio e primeira cientista a sugerir a possibilidade da fissão nuclear. Foi indicada ao prêmio Nobel em Química três vezes, mas não foi laureada.

⁵ Lise Meitner (1878-1968). Física austríaca que trabalhou principalmente na Alemanha. Foi codescobridora do protactínio e da fissão nuclear. Foi indicada ao prêmio Nobel em Química e em Física dezenas de vezes, mas nunca foi laureada.

⁶ Alice Hamilton (1869-1970). Médica estadunidense que estudou toxicologia e denunciou as aplicações indiscriminadas de chumbo que causavam doenças. Foi a primeira professora indicada para a Universidade de Harvard em 1919.

⁷ Julia Vsevolodovna Lermontova (1846-1919), química russa que estudou na Alemanha e estabeleceu um processo analítico de separação dos metais de transição do grupo da platina. Ela foi a segunda mulher no mundo e a primeira russa a receber o título de doutora em Química em 1874 pela Universidade de *Göttingen*.

Entre as poucas mulheres laureadas com o Prêmio Nobel em Química, Marie Curie⁸ foi premiada pela descoberta dos EQs polônio e rádio. Por essas contribuições científicas, seu nome foi eternizado na TP através do elemento cúrio (Cm). Além dela, Lise Meitner foi homenageada na TP com o meitnério (Mt). Por sua vez, os homens homenageados com o nome de EQs são muitos, incluindo o próprio Mendeleiev (mendelévio).

A realidade da Ciência e da História da Ciência, pautadas nas realizações de grandes gênios, é transferida para livros-texto, empregados em cursos de graduação, e para livros didáticos, utilizados na Educação Básica. O resultado disso consiste na sub-representação das mulheres cientistas e das contribuições delas para o desenvolvimento científico e tecnológico (Sousa et al., 2019). De acordo com Sedeño (1992, p. 29, tradução da autora) “Se os textos precisam de referências às mulheres e suas imagens, os alunos podem considerar que a Ciência é coisa exclusiva de homens”.

Diante desse cenário, esta pesquisa buscou responder às seguintes questões: *Quais mulheres contribuíram para a descoberta de elementos químicos? Quais as implicações dessas descobertas para o desenvolvimento da tabela periódica?* Para respondê-las, foram formulados os objetivos a seguir:

Objetivo Geral:

- *Investigar a história das mulheres cientistas e suas contribuições para a descoberta de elementos químicos e suas implicações para o desenvolvimento da tabela periódica.*

Objetivos Específicos:

- *Avaliar a presença das mulheres cientistas na produção científica nacional da área de Ensino de Química sobre a descoberta de elementos químicos e do desenvolvimento da tabela periódica.*

⁸ Marie Curie (1867-1934). Física e Química de origem polonesa que estudou e trabalhou na França. Foi codescobridora dos elementos polônio e rádio. Laureada em 1903 com prêmio Nobel em Física e em 1910 com o prêmio Nobel em Química.

- *Identificar as contribuições femininas para a descoberta de elementos químicos e para o desenvolvimento da tabela periódica.*
- *Construir um e-book sobre as mulheres cientistas que participaram da descoberta de elementos químicos.*

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo está dividido em três tópicos: (i)- Definindo Termos; (ii)- Breve Histórico do Desenvolvimento da Tabela Periódica; (iii)- O Ensino e a Aprendizagem sobre Tabela Periódica.

2.1 DEFININDO TERMOS: ELEMENTO QUÍMICO, TABELA PERIÓDICA, LEI PERIÓDICA E SISTEMA PERIÓDICO

A TP é uma representação do sistema periódico de EQs utilizada no mundo inteiro e está presente em livros didáticos, laboratórios, salas de aula, etc. A estrutura da TP se modificou ao longo do tempo devido aos avanços da Ciência. No entanto, enquanto objeto de conhecimento, compõe a matriz curricular do ensino básico e relaciona-se a diversos conceitos químicos fundamentais, tais como: átomo, número atômico, propriedades periódicas, etc.

Na TP atual encontram-se algumas características dos EQs: nome, símbolo, número atômico e massa atômica. Esse conjunto de informações é frequentemente consultado por estudantes, professores, pesquisadores, ou qualquer indivíduo que precise desses dados.

A TP surgiu de uma necessidade de organização dos EQs descobertos. Nesse sentido, os cientistas iniciaram a busca por propriedades físicas (volume atômico, densidade, etc.) e químicas (relações estequiométricas, valência, etc.) que servissem como critério para classificação (Scerri, 2020).

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC)⁹ define EQ como:

1. Uma espécie de átomos; todos os átomos com o mesmo número de prótons no núcleo atômico.
2. Uma substância química pura composta de átomos com o mesmo número de prótons no núcleo atômico. Às vezes esse conceito é chamado de substância simples, diferente do conceito de elemento químico conforme definido em 1, mas na maioria das vezes o termo elemento é usado para ambos os conceitos (IUPAC, 2019, p. 258, tradução da autora).

⁹ Organização internacional não governamental fundada, em 1919, por químicos acadêmicos e industriais que reconheceram a necessidade de padronização na Química. Esse órgão estabelece normas para nomenclatura, padrões para pesos atômicos e constantes físicas, edita tabelas de propriedades da matéria, entre outras atividades.

A concepção dual para o conceito de EQ segundo a IUPAC foi criticada por Scerri e Ghibaudi (2020). Eles argumentam que nenhuma dessas concepções representa um significado satisfatório para esse conceito. A utilização da expressão ‘elemento químico’ para designar a substância simples e a que permanece inalterada em uma reação química gera um conflito lógico que pode causar problemas no Ensino de Química (Scerri; Ghibaudi, 2020). Considerando a atual Lei Periódica, neste estudo foi adotada a definição 1, sugerida por Broek¹⁰ e evidenciada por Moseley¹¹ no início do século XX.

Os EQs, por pertencerem à mesma classe de objetos, mantêm semelhanças entre si (número de massa, número atômico, etc.). Quando o sistema de EQs é organizado levando em consideração essas semelhanças surge um padrão que pode ser representado de várias formas. A representação mais comum é o formato de tabela. Por considerar que as propriedades físicas e químicas dos EQs se repetem ao longo das colunas, que são chamadas grupos ou famílias, a tabela recebeu o adjetivo ‘periódica’. Denominamos ‘tabela periódica’ a organização bidimensional dos EQs em linhas (períodos) e colunas (grupos ou famílias).

A variação da carga nuclear, relacionada ao número de prótons no núcleo, ajuda a explicar a periodicidade, porque influencia as energias e as posições dos elétrons nos átomos (Atkins; Jones; Laverman, 2018). Configurações eletrônicas semelhantes permitem que EQs da mesma família apresentem propriedades químicas parecidas. A associação entre configuração eletrônica e posicionamento dos EQs na TP foi sugerida inicialmente por Thomson¹² e explicada com sucesso por Bohr¹³ (Scerri, 2020).

A Lei Periódica estabelece que os EQs, quando arranjados na ordem crescente de número atômico, se agrupam em grupos ou famílias com propriedades semelhantes (Atkins; Jones; Laverman, 2018). A Lei Periódica é

¹⁰ Antonius van den Broek (1870-1926). Físico amador holandês que sugeriu que a ordem crescente da carga nuclear (número atômico) fosse usada para organizar os elementos químicos na TP em 1911.

¹¹ Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915). Físico britânico que criou a técnica de espectroscopia de raios x para determinar o número atômico dos elementos químicos. Morreu prematuramente durante a Primeira Guerra Mundial.

¹² Joseph John Thomson (1856-1940). Físico britânico que descobriu o elétron. Foi laureado com o prêmio Nobel em Física de 1906.

¹³ Niels Bohr (1885-1962). Físico dinamarquês que introduziu a mecânica quântica no estudo do átomo e elaborou um modelo atômico bem sucedido. Foi laureado com o prêmio Nobel em Física de 1922.

comumente expressa no formato de tabela bidimensional, chamado de 'tabela periódica dos elementos químicos'.

Por sua vez, o conceito de sistema periódico é mais amplo e abstrato, pois denota as relações que podem ser estabelecidas pelos EQs em função das suas propriedades físicas (volume atômico, densidade, etc.) e químicas (relações estequiométricas, valência, etc.). As diversas formas pelas quais essas relações podem ser representadas graficamente deram origem a centenas organizações distintas (tríades, árvores, espirais, tabelas, etc.) (Mazurs, 1974). Em meio a essa diversidade de formas, prevaleceu o formato de tabela bidimensional.

Embora seja mais restrita, que sistema e lei, a expressão 'tabela periódica' é mais utilizada e tornou-se um dos símbolos mais representativos da Química e da Ciência. Conhecer esses termos pode evitar que eles sejam usados de forma equivocada ou como sinônimos. Chegar a essas definições não foi simples e envolveu a participação coletiva de homens e mulheres desde o século XIX. Um breve histórico do desenvolvimento da TP será apresentado a seguir.

2.2 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA

Neste tópico serão discutidas algumas das principais tentativas de organização dos EQs propostas ao longo do século XIX. O começo deste breve histórico situa-se com a lista de elementos químicos compilada por Lavoisier e encerra-se com os desafios enfrentados pela TP após o sucesso das versões elaboradas por Mendeleiev.

2.2.1 A Lista de Elementos químicos de Lavoisier e Dalton

Em 1789, na introdução do Tratado Elementar de Química¹⁴, Lavoisier¹⁵ definiu o conceito de EQ:

¹⁴ Principal obra de Lavoisier, na qual ele definiu elemento químico, propôs novas regras de nomenclatura dos compostos químicos e explicou a sua teoria do oxigênio para as reações de combustão. A teoria do oxigênio marca a degenerescência da teoria do flogisto para as combustões. A ascensão da teoria do oxigênio é um dos marcos iniciais da Química Moderna.

¹⁵ Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1894). Químico francês que participou juntamente com sua esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), da descoberta do oxigênio e identificou seu papel nas reações químicas de combustão.

[...] atribuímos o nome de elementos ou princípios dos corpos a ideia do último ponto alcançado pela análise, todas as substâncias que ainda não conseguimos decompor por nenhum meio, são para nós elementos; não que possamos assegurar que esses corpos que consideramos simples não sejam eles próprios compostos de dois ou mesmo de um número maior de princípios, mas como esses princípios nunca se separam, ou melhor, como não temos meios de separá-los, eles agem para nós à maneira dos corpos simples, e só devemos presumir que são compostos quando a experiência e a observação nos fornecerem provas (Lavoisier, 1789, p. 17-18, tradução da autora).

O conceito de EQ segundo Lavoisier é operacional e assemelha-se ao atual conceito de substância simples. Seguindo esse conceito, o químico francês apresentou uma lista de 33 substâncias simples (Figura 1).

Figura 1 – Lista de substâncias simples (elementos químicos) elaborada por Lavoisier.

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

Fonte: Lavoisier (1789, p. 192).

O conceito de EQ de Lavoisier não era original, outros químicos, como Robert Boyle¹⁶, o definiram de forma semelhante. Contudo, o mérito de Lavoisier reside em definir e compilar uma lista de substâncias simples, o que ninguém havia realizado simultaneamente (Siegfried, 1982).

Seguindo parcialmente o conceito de elemento químico de Lavoisier, em 1808, Dalton¹⁷ publicou uma lista de EQs, estabeleceu símbolos e, pela primeira vez, atribuiu pesos relativos (Figura 2).

Figura 2 – Elementos químicos, pesos relativos e símbolos segundo Dalton.

1 Hydrog. its rel. weight 1	11 Strontites - - - 46
2 Azote, - - - - 5	12 Barytes - - - - 68
3 Carbone or charcoal, - 5	13 Iron - - - - - 38
4 Oxygen, - - - - 7	14 Zinc - - - - - 56
5 Phosphorus, - - - 9	15 Copper - - - - 56
6 Sulphur, - - - - 13	16 Lead - - - - - 95
7 Magnesia, - - - - 20	17 Silver - - - - - 100
8 Lime, - - - - - 23	18 Platina - - - - 100
9 Soda, - - - - - 28	19 Gold - - - - - 140
10 Potash, - - - - 42	20 Mercury - - - - 167

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
		17	18	19	20		

Fonte: Adaptado de Dalton (1808, p. 218-219).

Segundo Dalton (1810, p. 221, tradução da autora), “Por princípios elementares, ou corpos simples, entendemos aqueles que não foram decompostos, mas que entram em combinação com outros corpos”. Dalton

¹⁶ Robert Boyle (1627-1691). Químico irlandês, um dos primeiros defensores da teoria corpuscular da matéria na Química. Descobriu a relação entre pressão e volume dos gases: $P_i \times V_i = P_f \times V_f$. Seu livro ‘O Químico Cético’ teve grande influência na transição entre a Alquimia e a Química.

¹⁷ John Dalton (1766-1844). Matemático, meteorologista, físico e químico inglês que propôs uma influente teoria atômica no início do século XIX. Dalton foi o primeiro a definir pesos atômicos para os elementos químicos.

propôs uma teoria corpuscular da matéria na qual cada EQ apresentava peso relativo, tamanho e propriedades diferentes.

O peso atômico relativo, propriedade atribuída por Dalton aos EQs, foi determinante para a construção da TP. O peso atômico de Dalton era relativo ao hidrogênio ao qual foi atribuído peso 1, por ser o mais leve. O peso atômico dos demais EQs foram calculados a partir das combinações com o hidrogênio. Posteriormente, pesquisas com o objetivo de determinar os pesos atômicos trouxeram números cada vez mais precisos. A combinação entre os pesos atômicos e propriedades físicas (volume atômico, densidade, etc.) e químicas (relações estequiométricas, valência, etc.) fez emergir relações entre os EQs que culminaram com as diversas proposições de organização dos EQs.

2.2.2 As Tríades de Dobereiner e seus Desdobramentos

Em 1817, Dobereiner¹⁸ (1780 - 1849) fez a primeira sugestão de organização dos EQs a partir de relações entre as propriedades químicas reacionais e o peso atômico dos óxidos. O químico alemão observou que os metais alcalinoterrosos cálcio, estrôncio e bário formavam combinações de caráter básico. Ao deparar-se com os pesos atômicos dessas combinações, ele classificou esses EQs numa tríade, na qual o elemento central, apresentava peso atômico intermediário entre os elementos das extremidades. Dobereiner calculou a média entre os pesos do óxido de cálcio (27,5) e de bário (72,5) e obteve um valor aproximado para o peso do óxido de estrôncio (50) (Wurzer, 1817).

Posteriormente, em 1829, Dobereiner identificou outras três tríades: lítio, sódio e potássio; cloro, bromo e iodo; enxofre, selênio e telúrio (Figura 3). Dobereiner chegou a essas tríades utilizando dados de pesos atômicos e propriedades químicas produzidos por outros pesquisadores.

No caso da tríade cloro, bromo e iodo, os pesos atômicos foram calculados por Berzelius¹⁹ a partir dos sais formados por meio dos ácidos desses

¹⁸ Johann Wolfgang Dobereiner (1780-1849). Farmacêutico e químico alemão. Atuou na indústria química e obteve uma posição acadêmica como professor na Universidade de Jena. Foi o primeiro cientista a reconhecer uma relação entre os elementos químicos, as tríades.

¹⁹ Jons Jacob Berzelius (1779-1848). Químico sueco e considerado a maior autoridade em química na primeira metade do século XIX. Exímio químico analítico, descobriu os elementos químicos cério, selênio, silício e tório.

halogêneos. Na tríade lítio, sódio e potássio, os pesos atômicos foram calculados pelo químico alemão Leopold Gmelin²⁰ a partir dos hidróxidos formados por esses metais alcalinos. Na tríade formada por enxofre, selênio e telúrio os pesos atômicos foram calculados a partir dos ácidos formados por esses EQs.

Observa-se na Figura 3, que Dobereiner utilizou a afinidade química (atualmente chamada de reatividade) para ordenar os EQs nas tríades utilizando os numerais 1, 2 e 3 colocados ao lado. O ordenamento proposto por Dobereiner ainda pode ser observado na TP atual.

Figura 3 – Tríades de Dobereiner.

a) Salzbilder und deren Säuren.		Intensität der chem. Anziehung	
221,325 = Cl	455,129 = HCl	942,650 = Cl	3
789,145 = J	1590,770 = HJ	2079,290 = J	1
$\frac{1010,470}{2} = \text{Br}$	$\frac{2045,899}{2} = \text{HBr}$	$\frac{3020,940}{2} = \text{Br}$	2
Annal. d. Physik. B. 91. St. 2. J. 1829. St. 2.		U	
304			
b) Säurebilder und Säuren.		Intensität der chem. Anziehung	
201,165 = S	213,644 = HS	501,165 = S	3
806,452 = Te	831,412 = H Te	1106,452 = Te?	1
$\frac{1007,617}{2} = \text{Se}$	$\frac{1045,056}{2} = \text{HSe}$	$\frac{1607,617}{2} = \text{Se}$	2
c) Alkalibilder und Alkalien.			
95,310 = L	195,310 = L		1
489,916 = K	589,916 = K		3
$\frac{585,226}{2} = \text{Na}$	$\frac{785,226}{2} = \text{Na}$		2
d) Erdalkalibilder und alkalische Erden.			
256,019 = Cu	356,019 = Cu		1
856,880 = Ba	956,880 = Ba		3
$\frac{1212,899}{2} = \text{Sr}$	$\frac{1312,899}{2} = \text{Sr}$		2

Fonte: Dobereiner (1829, p. 303-304).

Dobereiner não tentou conectar suas tríades, mas seu sistema foi pioneiro e reconhecido como a primeira tentativa de organização dos EQs considerando propriedades químicas e peso atômico. A proposta de Dobereiner baseou a

²⁰ Leopold Gmelin (1788-1853). Foi um químico alemão cuja influência no campo da Química se deu por meio de um livro-texto (*Handbuch der theoretischen Chemie*) no qual sistematizou os conhecimentos químicos da época. Gmelin também foi autor de um sistema de organização dos elementos químicos baseado em tríades, assim como Dobereiner.

criação de outros sistemas de organização semelhantes. Um desses sistemas (Figura 4) foi proposto, por Gmelin:

Figura 4 – Organização dos elementos em tríades proposto por Gmelin em 1843.

O		N		II
F Cl Br J				L Na K
S Se Te				Mg Ca Sr Ba
P As Sb				G Y Ce La
C B Si				Zr Th Al
Ti Ta W				Sn Cd Zn
Mo V Cr				ϑ Mn Co Ni Fe
				Bi Pb Ag Hg Cu
				Os Ir R Pt Pd Au

Fonte: Gmelin, 1843, p. 457.

Gmelin avançou em relação a Dobereiner e estabeleceu outras tríades e organizou os 55 EQs conhecidos no formato da letra “V”. Foi ele quem cunhou o termo ‘tríade’ para o grupo de três EQs. Nessa organização, além da ordem crescente dos pesos atômicos, as tríades foram empilhadas verticalmente considerando a eletronegatividade. Os EQs mais eletronegativos ocupam a parte superior esquerda do V, os mais eletropositivos a parte superior direita, e aqueles com eletronegatividades intermediárias a parte inferior. Em cada tríade, o peso atômico aumenta da esquerda para a direita. O trio hidrogênio, nitrogênio e oxigênio foram posicionados acima das tríades em uma posição privilegiada (Girolami, 2019).

Posteriormente, outros arranjos baseados em tríades foram propostos, mas nenhum deles foi bem sucedido. Esses arranjos, na maioria das vezes, levavam em consideração apenas a média aritmética entre os pesos atômicos de EQs completamente diferentes (Scerri, 2020). Além disso, por mais que o conceito de tríade fosse expandido para incorporar quatro ou mais EQs no mesmo grupo, como fez Gmelin, não foi estabelecida qualquer tipo de relação entre esses grupos.

2.2.3 O Parafuso Telúrico de Chancourtois

Em 1862, Alexandre de Chancourtois²¹ propôs uma organização dos EQs conhecida como 'parafuso telúrico' (Figura 5). Em uma espiral registrada em um cilindro, ele organizou os EQs da mesma linha em ordem crescente de pesos atômicos equivalentes. A cada linha, os EQs aumentavam o peso em aproximadamente 16 unidades (peso equivalente do oxigênio). Nessa representação, EQs com propriedades semelhantes foram posicionados na mesma linha vertical. Ele foi o primeiro a identificar que as propriedades dos EQs, considerados como um grupo inteiro e não apenas dentro de tríades individuais, são funções periódicas dos seus pesos atômicos (Girolami, 2019).

As publicações sobre esse modelo não incluíram a imagem do parafuso telúrico, esta só apareceu em uma publicação posterior, pouco divulgada. Essa forma de organização não transmitia semelhanças químicas de forma convincente (Scerri, 2020). Mesmo reconhecendo alguns grupos de EQs na mesma linha vertical (metais alcalinos, metais alcalinoterrosos e halogêneos), sempre havia distorções como o bismuto no grupo do oxigênio e o césio longe dos metais alcalinos. Por esses motivos, as ideias de Chancourtois não tiveram alcance (Tolentino; Rocha-Filho, 1997).

As relações entre os EQs da mesma linha vertical do parafuso telúrico nem sempre eram unívocas. Dessa forma, a classificação por grupo era comprometida. Segundo Giunta (2021, p. 87, tradução da autora):

Um outro fator contribui para a indeterminação do parafuso telúrico: a base para estabelecer as relações entre os corpos [elementos químicos] nem sempre é clara e, quando é clara, nem sempre se baseia na Química. Algumas das relações diagonais descritas nas últimas memórias da série são relações geognósticas [relativas à composição das rochas] ou metalúrgicas. Com tantos pontos para conectar e tantas maneiras de conectá-los, o parafuso telúrico oferece muito pouca orientação para constituir um sistema útil.

²¹ Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois (1819 - 1886) foi um geólogo francês que propôs um sistema de organização dos elementos químicos conhecido como parafuso telúrico. Foi professor de Geologia da Escola de Minas em Paris.

Apesar dessas inconsistências, a contribuição do geólogo francês só foi reconhecida no final do século XIX, quando a TP de Mendeleev estava difundida por toda a Europa (Scerri, 2020).

Figura 5 – Parafuso telúrico proposto por Chancourtois.

7 Avril 1862

VIS TELLURIQUE

CLASSEMENT NATUREL DES CORPS SIMPLES OU RADICAUX
obtenu au moyen d'un
SYSTÈME DE CLASSIFICATION HÉLICOÏDAL ET NUMÉRIQUE
par A.E. BÉGUYER DE CHANCOURTOIS

Tableau des
Caractères Géométriques

			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
Hydrogène	H	1																								
Lithium	Li	7																								
Glucium	Gl	9																								
Bore	Bo	11																								
Carbone	C	12																								
Azote	Az	14																								
Oxygène	O	16																								
Fluor	Fl	19																								
Sodium	Na	23																								
Magnésium	Mg	24																								
Aluminium	Al	27																								
Silicium	Si	28																								
Phosphore	Ph	31																								
Soufre	S	32																								
Chlore	Cl	35																								
Potassium	K	39																								
Calcium	Ca	40																								
Titane	Ti	48																								
Chrome	Cr	52																								
Manganèse	Mn	55																								
Fer	Fe	56																								
Nickel	Ni	59																								
Cobalt	Co	59																								
Cuivre	Cu	63																								
Yttrium	Yt	63																								
Zinc	Zn	65																								
Zirconium	Zr	65																								
Arsenic	As	75																								
Brome	Br	79																								
Selenium	Se	80																								
Rubidium	Rb	87																								
Strontium	Sr	86																								
Lanthane	La	91																								
Cerium	Ce	92																								
Molybdène	Mo	96																								
Didyme	Di	99																								
Yttrium	Yt	100																								
Thallium	Tl	103																								
Rhodium	Rh	104																								
Rosodium	Rd	107																								
Argent	Ag	108																								
Cadmium	Cd	111																								
Étain	Sn	115																								
Thorium	Th	119																								
Uran	Ur	120																								
Antimoine	Sb	121																								
Cæsium	Cs	124																								
Iode	I	127																								
Tellure	Te	128																								
Tantale	Ta	184																								
Tungstène	W	185																								
Iridium	Ir	197																								
Platine	Pt	198																								
Or	Au	200																								
Mercure	Hg	204																								
Ruthenium	Ru	205																								
Osmium	Os	208																								
Bismuth	Bi	209																								

Fonte: Van Spronsen (1969, p. 99).

O nome parafuso telúrico deve-se ao telúrio estar posicionado no meio da representação. A palavra telúrio deriva da palavra 'terra' em Latin. Chancourtois era geólogo e tentou imprimir algumas ideias da Geologia na sua organização, a começar pelo nome.

2.2.4 Newlands e a Lei das Oitavas

O químico inglês John Newlands²² propôs, em 1863, uma classificação para os EQs baseada no peso atômico e nas propriedades químicas: isomorfismo (estrutura cristalina) dos compostos, fórmula dos óxidos, reatividade, etc. Ao propor o seu sistema periódico, ele admitiu a sua preferência pelas propriedades químicas: “[...] na difícil tarefa de agrupar os corpos elementares, fui guiado mais pelas características químicas do que pelas aparências físicas [...]” (Newlands, 1863, p. 71, tradução da autora). É importante destacar que, a essa altura do século XIX, os químicos já agrupavam os EQs em grupos segundo as suas semelhanças químicas: metais alcalinos, alcalinoterrosos, halogêneos, etc. Porém, os EQs de cada grupo variavam. Newlands estava ciente disso quando publicou uma das versões da sua TP:

Esta tabela não é tão perfeita quanto poderia ser; na verdade, tenho algumas de caráter mais completo, mas como a posição a ser ocupada pelos vários elementos está sujeita a considerável controvérsia, a [tabela] acima apenas apresenta pouco mais do que aqueles grupos elementares cuja existência é quase reconhecida universalmente (Newlands, 1864, p. 59, tradução da autora).

Nessa época, os pesos atômicos eram constantemente revisados e melhores dados eram obtidos ano a ano. Em 1860, o Congresso de Karlsruhe estabeleceu o conceito de equivalente químico (peso atômico dividido pela valência), definiu e atualizou os pesos atômicos (Oki, 2007). Newlands, que não havia participado desse evento, desconhecia esses novos desdobramentos.

²² John Alexander Reina Newlands (1837-1898). Químico inglês que publicou a partir de 1863 uma série de estudos sobre o sistema periódico. Ele frequentou brevemente o Royal College of Chemistry no qual foi assistente. Ele passou a maior parte de sua vida trabalhando como químico analítico particular, como professor de química e, por muitos anos, como químico-chefe em uma refinaria de açúcar. Após o sucesso da tabela periódica de Mendeleev, as contribuições de Newlands foram reconhecidas e ele foi laureado com a Medalha Davy em 1887.

Inicialmente utilizando dados desatualizados, ele posicionou a maioria dos EQs corretamente em seu sistema periódico (Scerri, 2020). Utilizando agora pesos atômicos atualizados, Newlands propôs, em 1866, a classificação que pode ser observada na Figura 6:

Figura 6 – Classificação dos elementos feita por Newlands.

No.	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	Os 51			
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52			
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53			
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54			
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55			
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56			

Fonte: Newlands (1866, p. 113).

Nessa época, Newlands havia percebido que as propriedades químicas de alguns EQs se repetiam regularmente em intervalos de oito unidades (Tolentino; Rocha-Filho, 1997). Ele chamou essa regularidade de ‘Lei das Oitavas’, uma analogia com as oitavas musicais, sistema em que as notas se repetem de oito em oito (dó, ré, mi, fá, sol, lá, si...dó...). A Lei das Oitavas representou a primeira noção do que Mendeleiev chamou de Lei Periódica e inaugurou o formato de tabela bidimensional como representação gráfica.

A analogia musical, a carência de evidências experimentais que corroborassem com a Lei das Oitavas, e o baixo prestígio de Newlands perante a comunidade científica contribuíram para que a TP proposta pelo químico inglês não fosse considerada relevante na época (Scerri, 2020).

Newlands aperfeiçoou a sua classificação periódica dos EQs diversas vezes. Seus esforços foram reconhecidos, em 1887, quando ele foi premiado com a Medalha Davy, principal prêmio científico da época.

2.2.5 As Relações Aritméticas entre os Pesos Atômicos de Odling

O químico inglês William Odling²³ classificou, em 1864, os 57 EQs conhecidos a partir dos seus respectivos pesos atômicos e propriedades químicas, principalmente a valência (Figura 7). Ele sugeriu que haveria similaridade entre pares de EQs cuja diferença entre os pesos atômicos variava de 84.5 a 97. Dessa forma, seriam semelhantes: cloro e iodo, ouro e prata, sódio e prata, céσιο e potássio, entre outros pares (Odling, 1864).

Figura 7 – Classificação dos elementos químicos de Odling.

			{ Ro 104	Pt 197
			{ Ru 104	Ir 197
			{ Pd 106.5	Os 199
			Ag 108	Au 196.5
..... H 1	"	"	Cd 112	Hg 200
"	"	Zn 65	"	Tl 203
..... L 7	"	"	"	Pb 207
G 9	"	"	U 120	"
..... B 11	Al 27.5	"	Sn 118	"
C 12	Si 28	"	Sb 122	Bi 210
..... N 14	P 31	As 75	Te 129	"
O 16	S 32	Se 79.5	I 127	"
..... F 19	Cl 35.5	Br 80	Cs 133	"
..... Na 23	K 39	Rb 85	Ba 137	"
Mg 24	Ca 40	Sr 87.5	Ta 138	Th 231.5
	Ti 50	Zr 89.5	"	
	"	Ce 92	{ V 137	
	Cr 52.5	Mo 96	{ W 184	
	{ Mn 55			
	{ Fe 56			
	{ Co 59			
	{ Ni 59			
	{ Cu 63.5			

Fonte: Odling (1864, p. 643).

²³ William Odling (1829-1921). Foi um químico britânico influente, professor e membro da Royal Society. Odling é considerado um dos codescobridores do sistema periódico. Participou do Congresso de Karlsruhe, no qual apresentou um trabalho sobre a unificação dos pesos atômicos. Também contribuiu para o desenvolvimento da teoria dos tipos, estabelecendo o tipo gás dos pântanos, baseado na substituição dos átomos de hidrogênio no metano.

Outra relação deveria ocorrer entre EQs leves cuja diferença entre os pesos atômicos era de aproximadamente 16. Nessa direção, ele sugeriu a seguintes semelhanças entre os pares: cloro e flúor, potássio e sódio, sódio e lítio, etc. (Odling, 1864). Odling ainda observou que EQs quimicamente semelhantes apresentam diferença de peso atômico de aproximadamente 48 unidades. Dessa forma, seriam semelhantes os pares: zinco e cádmio, arsênio e antimônio, bromo e iodo, entre outros (Odling, 1864). Na TP de Odling as semelhanças ocorrem entre EQs posicionados na mesma linha.

Na década de 1860, os químicos agrupavam os EQs semelhantes em grupos (Newlands, 1864). A esses conhecimentos, Odling acrescentou dados relacionados às valências para explicar as relações aritméticas entre os pesos atômicos estabelecidas por ele. Dessa forma, o químico inglês ordenou, do ponto e vista atual, corretamente a maioria dos EQs conhecidos.

Contudo, graves anomalias podem ser encontradas em algumas relações estabelecidas por Odling, por exemplo, os pares prata e sódio, cádmio e magnésio, entre outros, do ponto de vista atual, são formados por EQs de grupos distintos e apresentam propriedades químicas bem diferentes. No entanto, essas relações só fazem sentido utilizando o critério de valência, considerado por Odling. Dessa forma, os pares prata e sódio apresentam valência 1, e cádmio e magnésio valência 2.

O sistema de classificação proposto por Odling ainda distinguiu EQs, hoje conhecidos como representativos, colocados no centro, e de transição, posicionados nas extremidades, conforme pode ser observado na Figura 7.

Segundo Scerri (2020), ainda não está claro o motivo pelo qual a TP proposta por Odling não repercutiu no meio científico da época, tendo em vista que, a sua proposta de classificação era mais qualificada que as anteriores e ele era um membro influente na comunidade científica dos químicos britânicos.

2.2.6 A Tabela Periódica Perdida de Meyer

O químico alemão Lothar Meyer²⁴ desenvolveu, a partir da década de 1860, algumas versões da TP. Meyer era nessa época o químico mais influente

²⁴ Julius Lothar Meyer (1830-1895). Foi o maior químico alemão do final século XIX. Após comparecer ao Congresso de Karlsruhe, Meyer construiu algumas versões da TP. Infelizmente,

de seu país (Scerri, 2020). O químico alemão participou do Congresso de Karlsruhe e conhecia o novo conceito e os valores atualizados dos pesos atômicos. Além disso, ele conhecia os estudos das tríades de Dobereiner e seus desdobramentos. Ele chegou a um sistema de organização dos EQs baseado na ordem crescente de peso atômico, na valência e nas propriedades químicas já reconhecidas por outros cientistas (Van Spronsen, 1969).

Em 1868, Meyer chegou a uma versão ampliada da sua TP (Figura 8):

Figura 8 – Tabela periódica elaborada por Meyer.

§ 91 Entwurf eines Systems der Elemente von Lothar Meyer. 1868.							
Nicht gedruckt. Wiedergabe nach dem Manuscript.							
1	2	3	4	5	6	7	8
		Al = 27,3 ⁴⁾ $\frac{28,7}{2} = 14,3$	Al = 27,3 *)				C = 12,00 16,5 Si = 28,5 $\frac{89,1}{2} = 44,55$
Cr = 52,6	Mn = 55,1 49,2	Fe = 56,0 48,3	Co = 58,7 47,3	Ni = 58,7	Cu = 63,5 44,4	Zn = 65,0 46,9	— $\frac{89,1}{2} = 44,55$
	Ru = 104,3 92,8 = 2·46,4	Rh = 104,3 92,8 = 2·46,4	Pd = 106,0 93 = 2·46,5		Ag = 107,94 88,8 = 2·44,4	Cd = 111,9 88,3 = 2·44,15	Sn = 117,6 89,4 = 2·44,7
	Pt = 197,1	Ir = 197,1	Os = 199,0		Au = 196,7	Hg = 200,2	Pb = 207,0
9	10	11	12	13	14	15	
			Li = 7,03 16,02	Be = 9,3 14,7			
N = 14,04 16,96	O = 16,00 16,07	F = 19,0 16,46	Na = 23,05 16,08	Mg = 24,0 16,0			
P = 31,0 44,0	S = 32,07 46,7	Cl = 35,46 44,51	K = 39,13 46,3	Ca = 40,0 47,6	Ti = 48 42	Mo = 92 45	
As = 75,0 45,6	Se = 78,8 49,5	Br = 79,97 46,8	Rb = 85,4 47,6	Sr = 87,6 49,5	Zr = 90 47,6	Vd = 137 47	
Sb = 120,6 87,4 = 2·43,7	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0 71 = 2·35,5	Ba = 137,1	Ta = 137,6	W = 184	
Bi = 208,0			? Tl = 204 ?				

Fonte: Meyer (1895, p. 6-7).

A TP elaborada por Meyer agrupava os EQs de forma mais precisa do que os demais cientistas. O problema é que essa TP, concebida em 1868, por causa de um erro de edição, não foi publicada. Essa versão só apareceu em 1895, após a morte de Meyer. Como pode ser observado na Figura 8, Meyer agrupou os EQs em 15 colunas levando em consideração a ordem crescente do peso atômico e as valências. Posteriormente, ele relacionou a ordem crescente

a melhor versão não foi publicada no momento em que foi concebida. Contudo, Meyer foi posteriormente reconhecido, juntamente com Mendeleev, como um dos precursores da TP.

do peso atômico e o volume atômico (peso atômico / densidade) (Meyer, 1870; 1872).

A TP não publicada em 1868 precedeu em aproximadamente um ano a versão de Mendeleiev. Não é possível saber se a TP elaborada por Meyer teria a mesma repercussão se tivesse sido publicada. Contudo, em alguns aspectos ela era mais precisa que a construída pelo químico russo e também previa a descoberta de alguns EQs. Por exemplo, diferente de Mendeleiev, Meyer agrupou estanho e chumbo no mesmo grupo. Da mesma forma, ele posicionou os metais alcalinoterrosos corretamente no mesmo grupo (berílio, magnésio, cálcio, estrôncio e bário). Meyer ainda previu a descoberta do EQ de peso atômico de aproximadamente 70 unidades, entre o silício e o estanho no grupo 8 (Figura 8). Posteriormente esse EQ foi descoberto e hoje chama-se germânio.

Meyer é considerado, ao lado de Mendeleiev, o cientista que mais contribuiu para o desenvolvimento da TP, embora o químico russo tenha ficado com a maior parte do crédito (Scerri, 2020). Ambos foram premiados com a Medalha Davy, em 1882, por suas contribuições para o sistema de organização dos EQs.

2.2.7 Mendeleev e sua Tabela Periódica

O químico russo Dmitri Mendeleiev foi e ainda é intensamente cultuado como pai e descobridor da TP. Prova disso foi a escolha de 2019 como o Ano Internacional da Tabela Periódica em homenagem aos 150 anos da primeira versão elaborada por Mendeleiev (Leite, 2019).

Por volta de 1864, Mendeleev um químico experiente, com bagagem internacional, foi nomeado professor de Química Inorgânica em São Petersburgo, Rússia. Ciente dos pesos atômicos e das tentativas anteriores de classificar os EQs, ele chegou a uma versão da tabela periódica em 17 de fevereiro de 1869 (Figura 9). Na época, Mendeleiev estava escrevendo a segunda parte do livro “Princípios de Química” para ser usado por seus estudantes na universidade e desejava arranjar os 63 EQs conhecidos em uma única página (Gordin, 2019).

Profundo conhecedor das propriedades químicas dos EQs e dos pesos atômicos, Mendeleiev organizou a sua TP seguindo esses parâmetros. Não há evidências que o químico russo tenha elaborado a TP a partir de um sonho ou após jogar paciência com cartas de EQs, como sugerem livros de divulgação científica (Strathern, 2002). A versão mais provável é que a sua experiência enquanto professor de Química, pesquisador e escritor de obras didáticas tenha contribuído para a construção da sua versão da TP (Gordin, 2019).

Mendeleiev observou certa similaridade entre EQs que formavam grupos diferentes: metais alcalinos, alcalinoterrosos e halogênios. O próximo passo foi ordenar os pesos atômicos dos EQs de cada grupo. Posteriormente ele ordenou cada grupo em ordem crescente de valência. Por fim, ele estendeu esse esquema para os demais EQs conhecidos na época (Gordin, 2019). Dessa forma, o químico russo construiu a sua primeira versão da TP.

A superioridade da TP desenvolvida por Mendeleiev, em relação às demais, deve-se à previsão de novos EQs e de suas propriedades. A forma como ele divulgou e defendeu a sua descoberta contribuiu muito para que ela fosse considerada uma grande descoberta intelectual. O químico russo não apenas criou, mas discutiu e defendeu incisivamente a sua versão da TP (Scerri, 2020).

Além das classificações para os EQs propostas anteriormente, Mendeleiev ainda contou com a contribuição de uma compatriota. A química russa Julia Lermontova desenvolveu uma técnica de separação para os elementos químicos do grupo da platina (Boeck, 2019). A partir da separação desses metais (rutênio, ródio, paládio, ósmio irídio e platina) foi possível mensurar os pesos atômicos e posicioná-los corretamente na TP.

Ainda em vida, Mendeleiev viu a sua maior contribuição científica quase ser desafiada pela descoberta dos gases nobres. Esse grupo de EQs não havia sido previsto por ele, que a princípio não aceitou a sua existência. Contudo, para a alegria do químico russo, os gases nobres foram acomodados perfeitamente com a adição de mais uma coluna após os halogêneos (Van Spronsen, 1969).

2.2.8 Depois de Mendeleev

Após a morte de Mendeleiev, a TP foi novamente questionada em função da descoberta de dezenas de radioisótopos no começo do século XX. Como

acomodá-los na TP? Essa confusão só foi desfeita após a compreensão de um conceito: isótopo. O significado do termo isótopo, cunhado por Margaret Todd²⁵, foi proposto pelo físico Frederick Soddy²⁶ para designar núcleos que apresentam mesmo número atômico e diferentes números de massa (Soddy, 1913).

Graças ao trabalho científico da química polonesa Stefanie Horovitz²⁷ a existência dos isótopos foi suficientemente evidenciada. Ela e seu orientador evidenciaram que o chumbo proveniente de decaimento radioativo apresentava peso atômico diferente do chumbo encontrado na natureza (Rayner-Canham; Rayner-Canham, 2019). Essa foi uma forte evidência de que o peso atômico não era uma propriedade adequada para definir e classificar os EQs. Após esclarecer o significado do termo isótopo, Soddy ainda sugeriu que todos os isótopos de um mesmo EQ fossem representados em um único espaço da TP (Soddy, 1913).

Ao bombardear núcleos atômicos com feixes de elétrons, Henry Moseley observou que a frequência dos raios-x emitidos era única para cada EQ (Moseley, 1913). Ele demonstrou que as raízes quadradas das frequências das radiações características emitidas podem estar relacionadas a um número ordinal (número de cargas positivas no núcleo) que define a posição de cada EQ na TP (Egdell; Bruton, 2020). Após a descoberta de Moseley, os elementos químicos passaram a ser organizados em ordem crescente de número atômico, conforme havia sugerido o físico amador holandês Antonius Van Den Broek.

Ao estabelecer que o número atômico define a posição dos EQs na TP, acabaram as anomalias relacionadas à classificação segundo o peso atômico. Dessa forma, o iodo pôde ser posicionado, sem qualquer problema, após o telúrio, mesmo apresentando peso atômico inferior. O mesmo ocorreu com os pares cobalto/níquel e argônio/potássio (Egdell; Bruton, 2020).

²⁵ Margaret Georgina Todd (1859-1918). Foi uma médica e escritora escocesa. Estudou Química na universidade e era fluente em Grego. Durante um jantar com amigos, incluindo Frederick Soddy, ela propôs o termo 'isótopo' para designar espécies químicas que apresentam o mesmo número atômico e diferentes números de massa. A palavra isótopo vem do Grego e em sentido literal significa 'mesmo lugar' (iso: mesmo; topos: lugar).

²⁶ Frederick Soddy (1877-1956). Foi um físico britânico que pesquisou a dinâmica das desintegrações radioativas. Propôs a lei que define a emissão de partículas alfa por núcleos atômicos. Foi laureado com o Prêmio Nobel de Química em 1921 "por suas contribuições para o conhecimento da química das substâncias radioativas e suas investigações sobre a origem e a natureza dos isótopos" (Nobel Foundation, 2024).

²⁷ Stefanie Horovitz (1887-1942). Foi uma química polonesa que pesquisou a massa atômica dos isótopos de chumbo. Suas pesquisas foram fundamentais para evidenciar a existência dos isótopos. Ela evidenciou que o chumbo proveniente de desintegração radioativa e o encontrado em minerais apresentam diferentes massas atômicas.

A partir dos experimentos de Moseley, chegou-se à Lei Periódica em vigor atualmente. Essa lei é graficamente representada pela TP publicada pela IUPAC (Anexo A). No Brasil, a versão em Língua Portuguesa da TP é publicada pela Sociedade Brasileira de Química (SBQ) (Anexo B).

2.3 O ENSINO E A APRENDIZAGEM SOBRE TABELA PERIÓDICA

As pesquisas sobre concepções alternativas apontam que aprendizes de todos os níveis de escolaridade, mesmo após o ensino formal, apresentam ideias diferentes das aceitas pela comunidade científica. Essas ideias diferentes do conhecimento científico são denominadas concepções alternativas (Boo, 1998). Em relação à aprendizagem sobre a TP a realidade não é diferente. Em um estudo realizado com estudantes de um curso de Licenciatura em Química, pesquisadores identificaram diversas concepções alternativas sobre a história do desenvolvimento da TP, tais como: (i)- A tabela Periódica foi criada por Mendeleev; (ii)- Mendeleev foi o grande inventor da Tabela Periódica e ela é até hoje um instrumento muito importante para a Ciência (Gomes; Mendes, Aires, 2021). Essas concepções alternativas vão de encontro ao estabelecido atualmente pelos historiadores da Ciência, que destacam um conjunto de cientistas como desenvolvedores da TP (Scerri, 2020b).

Um dos fatores para essas concepções históricas deficientes pode ser a abordagem da TP nos livros didáticos de Química. Ao analisar um conjunto de livros didáticos, os pesquisadores concluíram esses materiais didáticos “[...] não apresentam de forma satisfatória o conteúdo tabela periódica em uma abordagem histórica” (Mehlecke et al., 2012).

Em um estudo realizado com estudantes do Ensino Médio, a realidade não foi diferente, segundo os autores do estudo “[...] percebe-se que os alunos não conhecem a história da TP e apresentam uma concepção equivocada de que apenas um cientista contribuiu para sua organização” (Vianna et al., 2018, p. 58). Nesse mesmo trabalho, foi identificado ainda que “[...] grande parte dos estudantes do Ensino Médio não interpreta de forma satisfatória a informação sobre a localização (grupo e período) dos elementos químicos” e que os estudantes apresentam “[...] dificuldades em relacionar o número de elétrons na

camada de valência de um átomo com o grupo ao qual pertence” (Vianna et al., 2018, p. 60).

Em uma revisão da literatura em periódicos da área de Ensino de Química, os pesquisadores observaram que os estudos sobre ensino de TP estão orientados em quatro linhas de pesquisa: I) O lúdico no Ensino da Tabela Periódica; II) Contextualizando o Ensino de Tabela Periódica; III) Concepções sobre a Tabela Periódica; IV) Abordagens e Inclusão para o Ensino da Tabela Periódica (Lopes; Silva, 2022).

Na primeira linha de pesquisa encontram-se trabalhos que propõem e analisam a aplicação de jogos físicos e digitais para o ensino de TP. Por sua vez, a segunda linha de pesquisa busca aproximar a TP do cotidiano dos estudantes a partir da associação entre os EQs encontrados no dia-a-dia e os observados nas linhas e colunas da TP. Os trabalhos da terceira linha de pesquisa buscam identificar as concepções dos estudantes de diversos níveis de ensino sobre a TP. Essas pesquisas são importantes, pois permitem que os professores conheçam as concepções dos estudantes e possam desenvolver estratégias de ensino visando ampliar essas concepções incorporando conhecimentos coerentes com os aceitos atualmente pela comunidade científica. Por fim, a quarta linha de pesquisa apresenta estudos sobre a construção de abordagens e recursos didáticos para estudantes com algum tipo de deficiência: auditiva, visual, cognitiva, etc.

Após analisarem alguns trabalhos sobre a utilização da História da Ciência no ensino de TP, os autores afirmaram que:

A análise dos trabalhos permite notar que abordagens envolvendo a HC, tendo como tópico de estudo a TP, é estimuladora para os alunos quererem aprender, pois o assunto se torna mais agradável quando se tem a possibilidade de acompanhar a construção da TP, desde as primeiras tentativas de organização dos elementos químicos, passando por Mendeleev até os dias atuais (Ferreira et al., 2016, p. 358).

Dessa forma, observa-se que a História da Ciência pode basear estratégias de ensino eficientes para abordar a TP em diversos níveis de escolaridade.

Pelo visto, o ensino de TP é abordado em muitos trabalhos. Contudo, verificou-se a carência de estudos direcionados para o ensino de TP voltados para a Educação de Jovens e Adultos (EJA) e para estudantes do Ensino Fundamental. A utilização correta da TP abre possibilidades para a compreensão da Química e da matéria que forma nosso planeta e o universo, por esse motivo é fundamental que todos aprendam a consultá-la e utilizar suas informações para entender a composição e as transformações da matéria.

3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

A divulgação das contribuições das mulheres para a Ciência, especialmente na descoberta de EQs, é de extrema importância para promover a equidade de gênero e reconhecer o valor do trabalho científico realizado por elas. Esta visibilidade não só celebra as realizações passadas, mas também inspira futuras gerações de cientistas, incentivando uma maior diversidade e inclusão no campo científico.

Historicamente, as mulheres enfrentaram numerosos obstáculos para se afirmarem na ciência, desde a falta de acesso à educação até a exclusão de redes profissionais e de publicações científicas. No entanto, suas contribuições foram significativas e transformadoras. Marie Curie, a única pessoa a ganhar dois prêmios Nobel em diferentes Ciências (Física e Química), exemplifica como a determinação e o talento podem superar as barreiras. As descobertas do rádio e do polônio revolucionaram o campo da radioatividade e tiveram impactos duradouros na medicina, na indústria e na pesquisa científica.

Outras cientistas, como Lise Meitner, que contribuiu para a descoberta da fissão nuclear, também fizeram descobertas que moldaram nosso entendimento da Ciência. No entanto, muitas dessas contribuições foram subestimadas ou mesmo ignoradas por muito tempo devido ao preconceito de gênero.

Divulgar essas histórias é crucial para corrigir injustiças históricas e para garantir que as contribuições das mulheres sejam plenamente reconhecidas e valorizadas. Isso também ajuda a criar modelos de referência positivos para jovens interessadas em seguir carreiras científicas, mostrando que a Ciência é uma área onde todos podem ter sucesso, independentemente de gênero. Além disso, a promoção da equidade de gênero na Ciência contribui para um ambiente de pesquisa mais diversificado e inovador.

Esperamos que o produto educacional criado venha contribuir com a Educação Básica, incentivando a reflexão a respeito da divulgação das contribuições das mulheres para a Ciência, incluindo a descoberta de EQs. A utilização do e-book “As Mulheres Descobridoras de Elementos Químicos” é essencial para inspirar futuras gerações e enriquecer o progresso científico. Reconhecer e celebrar essas conquistas é um passo fundamental para construir uma Ciência mais inclusiva e equitativa, beneficiando toda a sociedade.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BANDEIRA, L. A contribuição da crítica feminista à ciência. **Estudos Feministas**, v. 16, n. 1, p. 207-230, 2008.

BOECK, G. Ordering platinum metals – the contribution of Julia Lermontova (1846/47-1919). *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and the energetic of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, n. 5, p. 569-581, 1998.

DALTON, J. **A New System of Chemical Philosophy**, Part I. Londres: S. Russell, 1808.

DALTON, J. **A New System of Chemical Philosophy**, Part II. Londres: S. Russell, 1810.

DOBEREINER, J. W. Versuch zu einer gruppierung der elementaren stoffe nach ihrer analogie. **Annalen der Physik**, v.91, n. 2, p. 301-307, 1829.

EGDELL, R. G.; BRUTON, E. Henry Moseley, X-ray spectroscopy and the periodic table. **Philosophical Transactions A**, v. 378, n. 2180, p. 1-33, 2020.

EIGLMEIER, H. M. S.; SILVEIRA, C. Mulheres da tabela periódica: produção de jogos e o engajamento de estudantes. **Ludus Scientiae**, v. 5, n. 1-2, p. 239-258, 2021.

FERREIRA, L. H.; CORREA, K. C. S.; DUTRA, J. 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.

FREITAS, N. M. A. M.; BALDINATO, J. O. Harriet Brooks e a tabela periódica: um caso para valorizar a participação feminina na história da ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**. v. 16, n.1, p. 311-335, 2023.

GIROLAMI, G. S. A book collector's view of the periodic table: key documents before mendeleev's contributions of 1869. **Substantia**, v. 3, n. 2, p. 109-124, 2019.

GIUNTA, C. Vis Tellurique of Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois. *In*: GIUNTA, C. J.; MAINZ, V. V.; GIROLAMI, G. S. (Orgs.). **150 Years of the Periodic Table**: A Commemorative Symposium. Suíça: Springer, 2021.

- GMELIN, L. **Handbuch der Chemie, Volume 1**. Heidelberg: Livraria Universitária de Karl Winter, 1843.
- GOMES, R. V.; MENDES, A. N. F.; AIRES, J. A. História da ciência no ensino superior: um estudo das concepções de licenciandos em química sobre a construção da tabela periódica. **Scientia Naturalis**, v. 3, n. 4, p. 1662-1677, 2021.
- GORDIN, M. **A Well-Ordered Thing: Dmitrii Mendeleev and the shadow of the periodic table**. 2. ed. New Jersey: Princeton University Press, 2019.
- IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology**. 2. ed. Estados Unidos da América, 2019.
- LAVOISIER, A. L. **Traité Élémentaire de Chimie**: présenté dans un ordre nouveau, et d'après les découvertes modernes. Paris: Chez Cuchet, 1789.
- 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.
- LOPES, C. P.; SILVA, D. O Ensino de Tabela Periódica: um olhar para alguns periódicos da área. **Revista Insignare Scientia**, v. 5, n. 4, p. 18-39, 2022.
- LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.
- MAZURS, E. G. **Graphic representations of the periodic system during one hundred Years**. EUA: The University of Alabama Press, 1974.
- MEHLECKE, C. M.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. A abordagem histórica acerca da produção e da recepção da Tabela Periódica em livros didáticos brasileiros para o ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 521-545, 2012.
- MENDELEEV, D. Die periodische Gessetzmässigkeit der chemischen Elements, **Annalen der Chemie und Pharmacie**, v. 8, p. 133–229, 1871.
- MEYER, L. Die Natur der Chemischen Elemente als Function ihrer Atomgewichte. **Annalen der Chemie**, Supplementband, v. 7, p. 354–364, 1870.
- MEYER, L. **Die Modernen Theorien der Chemie und Ihre Bedeutung Für die Chemische Statik**. Breslaw: Verlag Von Maruschke & Berendt, 1872.
- MEYER, L. Natur der Atome: Gründe gegen ihre Einfachheit. *In*: OSTWALD, W. (Org.). **Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften**: das Natürliche System der Chemischen Elemente., n. 68. Leipzig: Verlag Von Wilhelm Engelmann, 1895. p. 1-8.

MOSELEY, H. G. J. The high-frequency spectra of the elements. **Philosophical Magazine**, v. 26, n. 156, p. 1024-1034, 1913.

NEWLANDS, J. On relations among the equivalents. **Chemical News**, v. 7, p. 70-72, 1863.

NEWLANDS, J. A. R. Relations between Equivalents. **Chemical News**, v. 10, p. 59-60, 1864.

NEWLANDS, J. The law of octaves, and the causes of numerical relations among the atomic weights. **Chemical News**, v. 13, p. 113–114, 1866.

NOBEL FOUNDATION. **The Nobel Prize in Chemistry 1921**. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1921/summary/>. Acesso em: 29 Jul. 2024.

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

OKI, M. C. M. O Congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. **Química Nova na Escola**, v. 6, n. 2, p. 24-28, 2007.

RAYNER-CANHAM, M; RAYNER-CANHAM, G. Stefanie Horovitz: a crucial role in the discovery of isotopes. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. **Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system**. Singapore: World Scientific, 2019.

SCERRI, E. GHIBALDI, E. Introduction. *In*: SCERRI, E. GHIBALDI, E. (Orgs.). **What is Chemical Element?** New York Oxford University Press, 2020.

SCERRI, E. The many questions raised by the dual concept of 'element'. *In*: SCERRI, E. GHIBALDI, E. (Orgs.). **What is Chemical Element?** New York Oxford University Press, 2020b.

SCERRI, E. **The Periodic Table: its story and its significance**. 2. ed. New York Oxford University Press, 2020.

SEDEÑO, E. P. La enseñanza de la historia de las ciencias y los estudios sobre la mujer. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 7, p. 25-30, 1992.

SIEGFRIED, R. Lavoisier's table of simple substances: its origin and interpretation. **Ambix**, v. 29, p. 29-48, 1982.

SILVA, B. F.; BUTTCHEWITS, K. L.; BRONDANI, P. B.; COSTA, K. S. N. Quest: Mulheres na ciência e os elementos químicos. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**. v. 29, p. 210-225, 2024.

SODDY, F. Intra-atomic Charge. **Nature**, v. 4, p. 399-400, 1913.

SOUSA, C.; PEREIRA, C. F. C.; ROCHA, A. S.; BECKER, S.; TAMIASSO-MARTINHON, P. Representação da mulher em livros didáticos de química. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 4, p. 241-253, 2019.

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

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. **Química Nova**, v. 20, n.1, p. 103-117, 1997.

VAN SPRONSEN, J. W. **The Periodic System of Chemical Elements**: a history of the first hundred Years. Amsterdam: Elsevier, 1969.

VIANNA, N. S.; CICUTO, C. A. T.; PAZINATO, M. S. Concepções de estudantes do ensino médio sobre tabela periódica. **Redequim**, v. 4, n. 2, p. 49-67, 2018.

WURZER, F. Auszug eines Briefes vom Hofrath Wurzer, Prof. der Chemie zu Marburg. **Annalen der Physik**, p. 56, n. 7, p. 331-334, 1817.

4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO – FORMATO MULTIPAPER

Esta dissertação está organizada no formato multipaper. Dessa forma, serão apresentados a seguir dois papers. O paper 1, intitulado: A HISTÓRIA DA TABELA PERIÓDICA E DOS ELEMENTOS QUÍMICOS: UM OLHAR PARA A PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA, apresenta a pesquisa bibliográfica realizada em âmbito nacional sobre a história da TP e da descoberta de EQs.

O paper 2, denominado: CONTRIBUIÇÕES DAS MULHERES CIENTISTAS PARA A DESCOBERTA DE ELEMENTOS QUÍMICOS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA, retrata uma pesquisa histórica sobre a participação das mulheres na descoberta de EQs e as implicações dessas descobertas para o desenvolvimento da TP.

Após os papers, encontra-se o produto educacional na forma de um e-book: AS MULHERES DESCOBRIDORAS DE ELEMENTOS QUÍMICOS.

5 PAPER 1 – A HISTÓRIA DA TABELA PERIÓDICA E DOS ELEMENTOS QUÍMICOS: UM OLHAR PARA A PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA

RESUMO

O presente estudo refere-se a uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de avaliar como as mulheres e as suas contribuições científicas são retratadas nas pesquisas nacionais sobre a história da descoberta de Elementos Químicos (EQs) e sobre o desenvolvimento da Tabela Periódica (TP). Foram analisados trabalhos apresentados nas duas últimas edições do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ – 2021 - 2023) e artigos científicos publicados nos últimos seis anos em periódicos da área de Ensino de Química. Ao total, foram selecionados quatorze estudos que apresentavam no título termos relacionados à história da descoberta de EQs e ao desenvolvimento da TP. Os resultados apontam que poucas mulheres são citadas e suas contribuições quase não são mencionadas. Além disso, quando elas são citadas, os dados biográficos limitam-se ao nome e às datas de nascimento e morte, na maioria dos estudos analisados. Por sua vez, as contribuições das mulheres, além de pouco mencionadas, são apresentadas de forma descontextualizada e sem aprofundamento. Por fim, os resultados sugerem a necessidade de apresentar as contribuições das mulheres de forma perene e profunda visando a construção de uma História da Química mais humanizada, coletiva e diversa.

Palavras-Chave: Elemento químico, Tabela periódica, Mulheres na Ciência, História da Química.

ABSTRACT

The present study refers to a systematic review of the literature with the objective of evaluating how women and their scientific contributions are portrayed in national research on the history of the discovery of Chemical Elements (CEs) and the development of the Periodic Table (PT). Work presented in the last two editions of the National Chemistry Teaching Meeting (NCTM – 2021 - 2023) and scientific articles published in the last six years in journals in the field of Chemistry Teaching were analyzed. In total, fourteen studies were selected that presented in the title terms related to the history of the discovery of CEs and the development of PT. The results indicate that few women are cited and their contributions are almost not mentioned. Furthermore, when they are cited, the biographical data is limited to the name and dates of birth and death, in most of the studies analyzed. In turn, women's contributions, in addition to being rarely mentioned, are presented in a decontextualized way and without depth. Finally, the results suggest the need to present women's contributions in a permanent and profound way, aiming to build a more humanized, collective and diverse History of Chemistry.

Keywords: Chemical element, Periodic table, Women in Science, History of Chemistry.

INTRODUÇÃO

A história do desenvolvimento da tabela periódica (TP) está presente na maioria dos livros didáticos brasileiros de Química (Leite; Porto, 2015). Após analisar algumas narrativas desse episódio histórico, Eiglmeier e Silveira (2021, p. 240) afirmam que, no ensino de TP, “Quando acontece a abordagem histórica, ela é associada como obra quase que exclusiva do químico russo Dmitri Mendeleev”. Essa forma de escrever a História da Ciência destacando a figura dos “grandes gênios”, como Mendeleev, é considerada ultrapassada e elitista (Gil-Pérez et al., 2001; Fernandes; Porto, 2012).

Além das contribuições fundamentais de Mendeleev, é preciso reconhecer que descobertas realizadas por cientistas antecessores e contemporâneos foram decisivas para que o químico russo fosse bem sucedido. Nesse sentido, pode-se citar a contribuição de Julia Lermontova (1846-1919), química russa responsável pela separação dos metais do grupo da platina (rutênio, ródio, paládio, ósmio irídio e platina). A separação desses elementos químicos permitiu a determinação dos pesos atômicos e ajudou Mendeleev a posicioná-los corretamente em suas versões da TP (Boeck, 2019).

Talvez Lermontova tenha sido a primeira mulher a contribuir para o desenvolvimento da TP, mas certamente ela não foi a única ou a última. No início do século XX, Marie Curie (1867-1934) criou um método para a descoberta de novos elementos químicos radioativos por meio da medição da radiação emitida. Dessa forma, ela participou diretamente da descoberta do polônio e do rádio e abriu os caminhos para que outros elementos radioativos fossem descobertos (Quinn, 1997). Além de Lermontova e Curie, dezenas de mulheres cientistas realizaram descobertas que ajudaram a pavimentar o caminho de sucesso da TP, considerada atualmente o maior ícone da Ciência moderna (Scerri, 2020).

Trindade, Beltran e Tonetto (2016, p. 11) afirmam que “ainda hoje, pouco se discute nas salas de aula tópicos que abordam as contribuições femininas para a Ciência”. Essa realidade inclui o ensino de TP (Eiglmeier e Silveira (2021). Visando contribuir para evidenciar essa realidade, o objetivo geral deste estudo é analisar a produção bibliográfica sobre a história da TP e da descoberta de EQs nos anais das duas últimas edições do ENEQ (2021 e 2023) e em artigos

publicados entre 2019 e 2024 em periódicos na área de Ensino de Química buscando avaliar a presença das mulheres cientistas nessas narrativas.

METODOLOGIA

Nesta pesquisa bibliográfica de revisão sistemática da literatura foram levantados dados sobre a história da TP e da descoberta de elementos químicos. A revisão sistemática da literatura é "[...] uma modalidade de pesquisa, que segue protocolos específicos e busca dar alguma logicidade a um grande corpus documental" (Galvão; Ricarte, 2020, p. 57).

Foram consultados os anais das duas últimas edições do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) realizadas em 2021 (Recife - Online) e 2023 (Uberlândia). Também foram consultados artigos publicados em periódicos de ensino de Química nos últimos seis anos (2019 a 2024)²⁸.

Para selecionar os periódicos foi utilizado o Qualis elaborado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Considerando a última avaliação dos periódicos da área de Ensino, foram pesquisados artigos nos sites das seguintes revistas científicas da área de Ensino de Química: Journal of the Brazilian Chemical Society (A2), Química Nova na Escola (A2), Educação Química em Punto de Vista (A3), Revista Debates em Ensino de Química (A3), Química Nova (A4), Revista Virtual de Química (B2), Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química (B4) e Tchê Química (C).

Na pesquisa dos anais do ENEQ e dos periódicos foram utilizadas as palavras-chave: 'tabela periódica', 'elemento químico' e 'elementos químicos'. Dessa forma, foram selecionados para análise apenas os estudos cujos títulos apresentavam os termos: 'tabela periódica', 'elemento químico', 'elementos químicos', associados palavras que remetessem à abordagem histórica.

Todos os estudos foram lidos e codificados da seguinte maneira: A1, A2, A3... An para artigos em periódicos; RS1, RS2, RS3... RSn para resumos simples

²⁸ A pesquisa bibliográfica foi realizada entre os anos de 2019 e 2024. O ano de partida (2019) foi escolhido por ser declarado pela UNESCO Ano Internacional Tabela Periódica (AITP) em homenagem aos 150 anos da primeira versão da TP elaborada por Mendeleev. Dessa forma, foram publicados a partir de 2019 diversos livros e artigos científicos sobre a história da TP.

apresentados nos ENEQs; TC1, TC2, TC3... TCn para trabalhos completos publicados nos anais dos ENEQs.

A análise de dados pautou-se na identificação de personagens femininas que contribuíram para a descoberta de elementos químicos e para o desenvolvimento da TP. Nesse sentido, foi avaliada a presença ou a ausência das mulheres cientistas e como os dados biográficos e as contribuições científicas são apresentadas nos estudos selecionados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 apresenta o total de trabalhos selecionados para análise segundo a sua origem.

Quadro 1 – Resultados da pesquisa bibliográfica.

FONTE	TRABALHOS IDENTIFICADOS
Anais ENEQ 2021	4
Anais ENEQ 2023	1
Journal of the Brazilian Chemical Society	0
Química Nova na Escola	4
Educação Química em Punto de Vista	0
Debates em Ensino de Química	0
Química Nova	5
Revista Virtual de Química	0
Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química	0
Tchê Química	0
Total	14

Fonte: Elaborado pela autora.

Inicialmente, observando-se o Quadro 1, pode-se afirmar que este estudo identificou poucas pesquisas sobre a história da TP e da descoberta de elementos químicos considerando o tempo (2019 a 2014) e a quantidade de revistas analisadas (oito). Além disso, verificou-se que a produção científica sobre esses temas foi localizada em apenas dois periódicos: Química Nova (cinco) e Química Nova na Escola (quatro).

A codificação, a fonte, o título e o objetivo geral dos trabalhos analisados foram organizados no Quadro 2:

Quadro 2 – Código / fonte, título e objetivo geral dos estudos selecionados.

CÓDIGO / FONTE	TÍTULO	OBJETIVO GERAL
RS1 / ENEQ 2021	“2019: O ano internacional da tabela periódica” celebrado pela UFRR	Relatar a experiência vivida durante a execução do projeto 2019: AITP na UFRR.
TC1 / ENEQ 2021	Ensino de História da Química: uma proposta didática para abordagem da construção histórica da tabela periódica na nova modalidade da EJA	Propor a inserção da história da química na sala de aula para o Ensino da tabela periódica.
TC2 / ENEQ 2021	O Ano Internacional da Tabela Periódica: Divulgação Científica e História da Ciência em pauta	Sinalizar a importância do desenvolvimento de materiais e eventos de divulgação científica com vigilâncias históricas e epistemológicas, e inclusive relativos a aspectos acerca da Natureza da Ciência.
RS2 / ENEQ 2021	Projeto 150 anos da tabela periódica: contribuições de uma atividade de pintura como recurso didático	Relatar o desenvolvimento de um projeto com atividades de pesquisa, seleção e por fim a realização de uma pintura.
RS3 / ENEQ 2023	Emprego da abordagem histórica na promoção da aprendizagem significativa no ensino de modelos atômicos e tabela periódica	Promover uma aprendizagem significativa de modelos atômicos e tabela periódica.
A1 / Química Nova na Escola	Sesquicentenário da tabela periódica de Mendeleev	Apresentar em editorial a importância de discutir e celebrar os 150 anos da tabela periódica de Mendeleev.
A2 / Química Nova na Escola	Uma discussão sobre a descoberta do tecnécio à luz de alguns aspectos da Natureza da Ciência	Discutir a descoberta do tecnécio à luz de alguns aspectos da natureza do trabalho científico.
A3 / Química Nova na Escola	A história do promécio e o conceito de descoberta científica	Analisar a história do Promécio à luz do conceito de descoberta científica.
A4 / Química Nova na Escola	A nucleossíntese estelar e os elementos químicos essenciais para a vida	Apresentar como os elementos químicos foram formados no interior das estrelas e por meio da explosão desses corpos astronômicos.
A5 / Química Nova	Origens e consequências da tabela periódica, a mais concisa enciclopédia criada pelo ser humano	Mostrar como o acúmulo de elementos descobertos levou a uma necessidade classificatória que acabou dando origem à Tabela Periódica.
A6 / Química Nova	Terras raras: tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações	Apresentar aspectos do descobrimento e as aplicações do grupo de elementos químicos denominado terras raras.

A7 / Química Nova	O Ano Internacional da Tabela Periódica E o Ensino de Química: das cartas ao digital	Analisar os trabalhos envolvendo a tabela periódica no ensino de química.
A8 / Química Nova	AITP 2019 - Ano Internacional da Tabela Periódica dos elementos químicos	Apresentar novas perspectivas para o estudo dos elementos químicos mostrar formas não usuais da tabela periódica.
A9 / Química Nova	A contribuição do Brasil para a descoberta de um novo elemento químico – o paládio	Apresentar a descoberta do paládio (Pd) e a possível contribuição brasileira no fornecimento das amostras minerais utilizadas na descoberta desse elemento químico.

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se no Quadro 2 que os trabalhos analisados apresentam objetivos diversificados em termos de relatar as experiências no ensino de tabela periódica utilizando elementos da História da Ciência.

Dos quatorze trabalhos analisados, seis foram produzidos no contexto das comemorações do Ano Internacional da Tabela Periódica (AITP), declarado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 2019 (RS1, TC2, RS2, A1, A7 e A8). Esse ano foi escolhido em homenagem aos 150 anos da primeira versão da TP elaborada por Mendeleev. Nesse âmbito, foram construídas diversas abordagens de ensino que tinham como motivação as comemorações do AITP.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 2, a grande maioria dos estudos selecionados correspondem à artigos científicos publicados em revistas do estrato A do Qualis da CAPES (Química Nova na Escola: A2 e Química Nova: A4). Esse aspecto é importante, pois ressalta que os temas em análise foram investigados de forma integral e avaliados através de duplo-cego por membros da comunidade científica.

O Quadro 3 apresenta um panorama da presença de mulheres associadas à descoberta de elementos químicos e ao desenvolvimento da TP nos estudos analisados.

Quadro 3 – Mulheres e contribuições científicas nos trabalhos analisados.

CÓDIGO	MULHERES CITADAS	CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS
TC2	Maria Goeppert-Mayer	Criou a teoria dos números mágicos.
A2	Ida Noddack (1896-1978)	Descobriu, isolou e determinou as propriedades do rênio.
A5	Marie Curie (1867-1934) Marguerite Perey (1909-1975) Ida Noddack (1896-1978) Lise Meitner (1878-1968) Irène Joliot-Curie (1897-1956)	Cunhou a palavra radioatividade. Isolou os elementos polônio e rádio. Descoberta do frâncio. Descoberta do rênio. Descobriu o protactínio e a fissão nuclear. Descobriu a radioatividade artificial.
A7	Marie Curie (1867-1934) Lise Meitner (1878-1968) Ida Noddack (1896-1978) Berta Karlik (1904-1990) Marguerite Perey (1909-1975)	Descoberta do rádio e polônio. Identificou um isótopo de protactínio. Descoberta do rênio. Descoberta de isótopos do astato. Descobriu o frâncio.

Fonte: Elaborado pela autora.

Dos quatorze trabalhos analisados, apenas quatro citaram mulheres (A2, TC2, A5 e A7). No entanto, com exceção de A2, todos os demais, mencionaram apenas o nome e data de nascimento e falecimento das cientistas. Esse tipo de abordagem histórica no ensino de Química é criticado, pois não permite delinear a dimensão humana dos cientistas (Fernandes; Porto, 2012). Além disso, a biografia resumida das mulheres cientistas esconde as dificuldades enfrentadas por elas no âmbito do trabalho científico em função do gênero. A mesma situação ocorre em livros didáticos de Química destinados ao Ensino Médio:

As análises realizadas demonstraram que, ao tratarem das informações atinentes aos cientistas, os livros didáticos limitam-se à exposição dos nomes, bem como datas de nascimento e morte. Ademais, estes livros não contemplam a contento, a quantidade de cientistas que trabalharam para o aprimoramento do conhecimento no âmbito da química, em particular no que tange a tabela periódica (Barreto et al., 2016).

Ao longo da leitura dos trabalhos analisados percebeu-se pouco cuidado em detalhar a biografia das mulheres e explicar suas contribuições. Além da escassez de nomes femininos (sete), observou-se a repetição: Ida Noddack (3), Marie Curie (2), Lise Meitner (2), Marguerite Perey (2). A pequena quantidade de nomes femininos indica tanto o caráter elitista do Ciência no Século XX, quanto

o elitismo por parte dos historiadores da Ciência que sempre privilegiaram narrativas que destacavam apenas as contribuições de homens para a descoberta de elementos e para o desenvolvimento da tabela periódica. Por caráter elitista da Ciência, entende-se visões distorcidas nas quais a prática científica é realizada exclusivamente por grandes gênios. Dentro dessa visão deformada:

Os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo, dos intercâmbios entre equipes... Em particular faz-se crer que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem ser suficientes para verificar, confirmando ou refutando, uma hipótese ou toda uma teoria.

Muitas vezes insiste-se explicitamente em que o trabalho científico é um domínio reservado a minorias especialmente dotadas, transmitindo-se assim expectativas negativas à maioria dos alunos, com claras discriminações de natureza social e sexual (a ciência é apresentada como uma atividade eminentemente “masculina”) (Gil-Pérez et al., 2001, p. 133).

Observou-se também que com exceção de A2, os demais estudos que citaram as contribuições femininas não apresentaram os contextos científico, social e cultural nos quais as descobertas ocorreram. A ausência de contextos internos e externos à própria Ciência, pode resultar em visões distorcidas que consideram o trabalho científico ahistórico e aproblemático. Nessa visão deformada do trabalho científico, “transmitem-se os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas etc.,” (Gil-Pérez et al., 2001, p. 131).

Em TC2 cita-se apenas o nome de Maria Goeppert-Mayer, sem qualquer informação biográfica adicional. Além disso, menciona-se apenas a sua teoria dos números mágicos, sem indicar o que essa teoria significou para a Ciência no século XX. Utilizar a expressão ‘números mágicos’ sem explicá-la pode contribuir para interpretações distorcidas da teoria criada por Maria Goeppert-Mayer para explicar a estabilidade nuclear.

Nos trabalhos sobre o Ano Internacional da Tabela Periódica (2019), observou-se que as discussões se centraram apenas em Mendeleev e Meyer, na grande maioria dos trabalhos, deixando de destacar as contribuições

femininas e de outros cientistas. Mais uma vez, foi evidenciada que o elitismo dessas narrativas históricas.

Ao longo dos trabalhos verificou-se ainda a ausência das descobertas de elementos químicos após a segunda guerra mundial. Nesse sentido, diversas contribuições femininas foram omitidas, como as dos elementos químicos transurânicos pesados e superpesados. Nesse sentido, poderiam ser mencionadas: Pirkko Eskola²⁹, Carol Alonso³⁰, Dawn Shaughnessy³¹, etc.

Diversos nomes de cientistas mulheres foram omitidos durante as discussões históricas nos estudos analisados. Nessa perspectiva, percebeu-se a ausência das contribuições científicas de Ellen Swallow³², que realizou estudos que serviram de base para a descoberta do samário e do gadolínio (Charbonneau; Rice, 2019). O artigo A6 descreveu a descoberta das terras raras, mas não mencionou a pesquisa que influenciou a descoberta de dois elementos químicos que pertencem a essa classe.

O artigo A4 descreveu a nucleossíntese estelar, porém não citou que a astrônoma e astrofísica britânico-americana Cecilia Payne-Gaposchkin³³ descobriu que o sol é formado basicamente por hidrogênio e hélio e com isso ajudou a explicar a origem dos elementos químicos no universo (Shindell, 2019).

De uma forma geral, observa-se que as comemorações relacionadas ao AITP impulsionaram o desenvolvimento de trabalhos sobre o ensino de TP tendo como cenário e ponto de partida as contribuições de Mendeleev. Nesse pano de fundo histórico, percebe-se a ausência da dimensão coletiva do trabalho científico e a ocultação das contribuições femininas para o desenvolvimento da TP e para a descoberta de elementos químicos.

²⁹ Pirkko Eskola (1949-presente). Física finlandesa que participou da descoberta dos elementos químicos dúbnio e ruterfórdio.

³⁰ Carol Travis Alonso (1941-presente). Física canadense que participou da descoberta do seabórgio.

³¹ Dawn Angela Shaughnessy (1971-presente) é uma radioquímica americana e pesquisadora do grupo de elementos pesados no Lawrence Livermore National Laboratory. Ela participou da descoberta dos elementos superpesados com números atômicos de 114 a 118.

³² Ellen Herietta Swallow Richards (1842-1911) foi uma química analítica americana especialista em análise de minerais.

³³ Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979) foi uma astrônoma e astrofísica britânico-americana. Foi a primeira pessoa a mostrar que o Sol é composto primariamente de hidrogênio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa bibliográfica realizada em estudos nacionais da área de ensino de Química evidenciou que a história da descoberta dos elementos químicos e da TP é narrada sob uma perspectiva masculina centrada sobretudo em Mendeleev, excluindo outros personagens históricos que deram contribuições científicas significativas, principalmente femininas.

As contribuições femininas pouco são mencionadas, e quando são, essas menções aparecem, na maioria das vezes, de forma descontextualizada e resumida em termos biográficos. Esse dado aponta a necessidade do resgate e divulgação das contribuições científicas femininas, que não são poucas.

As mulheres contribuíram diretamente para a descoberta de mais de uma dezena de elementos químicos e alguns dos estudos desenvolvidos por elas serviram de base para a descoberta de muitos outros. Dessa forma, seus nomes e contribuições devem ser apresentadas nas aulas, nos livros didáticos e na produção científica nacional com a finalidade de apresentar uma História da Química humanizada, coletiva e diversa.

REFERÊNCIAS

BARRETO, G. S. N.; XAVIER, J. L.; SANTOS, J. D.; MESQUITA, N. A. S. História da Ciência nos livros didáticos de Química: Tabela Periódica como objeto de investigação. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA*, 18., 2016, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2016.

BOECK, G. Ordering platinum metals – the contribution of Julia Lermontova (1846/47-1919). *In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

CHARBONNEAU, J. A.; RICE, R. E. From Miss Swallow's "insoluble residue" to the discovery of samarium and gadolinium. *In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system*. Singapore: World Scientific, 2019.

EIGLMEIER, H. M. S.; SILVEIRA, C. Mulheres da tabela periódica: produção de jogos e o engajamento de estudantes. **Ludus Scientiae**, v. 5, n. 1-2, p. 239-258, 2021.

FERNANDES, M. A. M.; PORTO, P. A. Investigando a presença da História da Ciência em livros didáticos de Química Geral para o Ensino Superior. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 420-429, 2012.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **LOGEION: Filosofia da Informação**, v. 6 n. 1, p.57-73, 2020.

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

LEITE, H. S. A.; PORTO, P. A. Análise da abordagem histórica para a tabela periódica em livros de Química Geral para o Ensino Superior usados no Brasil no século XX. **Química Nova**, v. 38, n. 4, p. 580-587, 2015.

LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

SCERRI, E. **The Periodic Table**: its story and its significance. 2. ed. New York Oxford University Press, 2020.

SHINDELL, M. Cecilia Payne-Gaposchkin and the elemental composition of stars. In: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

6 PAPER 2 – CONTRIBUIÇÕES DAS MULHERES CIENTISTAS PARA A DESCOBERTA DE ELEMENTOS QUÍMICOS E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA

RESUMO

A história dos elementos químicos (EQs) e da tabela periódica (TP) foi por muito tempo narrada, quase que exclusivamente, sob a perspectiva dos 'grandes gênios', geralmente homens. Tendo em vista essa realidade, o objetivo deste estudo é resgatar as contribuições das mulheres cientistas para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP. Nesse sentido, foi realizada uma pesquisa histórica junto a fontes primárias e secundárias. Esta pesquisa apoia-se em pressupostos teóricos e metodológicos da Historiografia da Ciência Contemporânea, que trouxe a revalorização das técnicas, dos conhecimentos e dos personagens esquecidos pela Historiografia da Ciência Tradicional. Entre outras contribuições importantes, os resultados apontaram que quatorze cientistas participaram diretamente da descoberta de quatorze EQs. Desse grupo, destaca-se a cientista nuclear estadunidense Dawn Shaughnessy (1971-presente), que fez parte da equipe que descobriu cinco EQs superpesados (Fl, Mc, Lv, Ts e Og). Em relação ao desenvolvimento da TP, pode-se citar a construção de um espectroscópio de raios-x de alta resolução pela química francesa Yvette Cauchois (1908-1999), que permitiu a consolidação da descoberta de EQs raros e gases. Também foi importante a pesquisa realizada pela química polonesa Stefanie Horowitz (1887-1942), que produziu evidências determinantes para a existência dos isótopos. As análises gravimétricas realizadas por ela demonstraram que o chumbo pode apresentar diferentes massas atômicas. Uma vez identificadas, as contribuições científicas das mulheres precisam ser mais exploradas na divulgação da Ciência e no ensino de Química visando tanto a valorização das cientistas do passado e do presente, quanto o engajamento das cientistas do futuro.

Palavras-chave: Elementos químicos, tabela periódica, mulheres cientistas.

ABSTRACT

The history of chemical elements (CEs) and the periodic table (PT) was for a long time narrated, almost exclusively, from the perspective of 'great geniuses', usually men. Bearing this reality in mind, the objective of this study is to rescue the contributions of women scientists to the discovery of CEs and the development of PT. In this sense, historical research was carried out using primary and secondary sources. This research is based on theoretical and methodological assumptions of the Historiography of Contemporary Science, which brought about the revaluation of techniques, knowledge and characters forgotten by the Historiography of Traditional Science. Among other important contributions, the results showed that fourteen scientists directly participated in the discovery of fourteen CEs. Of this group, American nuclear scientist Dawn Shaughnessy (1971-present) stands out, who was part of the team that discovered five superheavy CEs (Fl, Mc, Lv, Ts and Og). In relation to the development of TP,

we can mention the construction of a high-resolution x-ray spectroscope by French chemist Yvette Cauchois (1908-1999), which allowed the consolidation of the discovery of rare CEs and gases. Also important was the research carried out by Polish chemist Stefanie Horowitz (1887-1942), which produced decisive evidence for the existence of isotopes. The gravimetric analyzes carried out by her demonstrated that lead can have different atomic masses. Once identified, women's scientific contributions need to be further explored in the dissemination of Science and in the teaching of Chemistry, aiming both at valuing women scientists of the past and present, and at engaging women scientists of the future.

Keywords: Chemical elements, periodic table, women scientists.

INTRODUÇÃO

Na década de 1970 começaram as tentativas mais profícuas de resgatar as contribuições das mulheres para a Ciência. Segundo Schiebienger (2001), haviam dois desafios que tornavam essa tarefa urgente: 1- mostrar que as mulheres haviam de fato realizado descobertas relevantes para o desenvolvimento científico e tecnológico; 2- criar modelos de cientistas para que as jovens pudessem se espelhar. Atualmente considera-se que esses desafios foram parcialmente superados, pois, já existe uma quantidade razoável de estudos que destacam as contribuições das mulheres para o desenvolvimento científico e tecnológico. Contudo, o desafio atual é disseminar essas pesquisas, incluí-las em recursos didáticos e discuti-las nas salas de aula.

Sedeño (1993) afirma que a participação das mulheres na Ciência sempre foi pequena em todas as épocas e países, pois elas não eram admitidas na universidade, contudo esse número é maior do que se pensa e muito maior do que aparece na História da Ciência. A participação sempre foi pequena, pois ainda no começo do século XX, a carreira científica era vista como imprópria para as mulheres (Chassot, 2017). Apesar dessas limitações impostas arbitrariamente, elas desempenharam papéis importantes nas descobertas científicas. No campo da Química, por exemplo, podemos citar as contribuições de Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), intelectual, assistente de laboratório, ilustradora, tradutora e esposa de Lavoisier (1743-1794). Marie-Anne fez parte da equipe que, sob a liderança de Lavoisier, realizou os experimentos que culminaram com a descoberta do oxigênio e a revolução científica que levou ao abandono gradual da teoria do flogisto (Bret; Kawashima, 2019).

As mulheres contribuíram em todas as áreas da Química, inclusive para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP. Ainda assim, essas contribuições são pouco conhecidas. Ao longo da História da Química são mencionados vários nomes de cientistas que descobriram EQs: Jacob Berzelius (1779-1848), William Ramsay (1852-1916), Humphry Davy (1778-1829), etc. Em relação à TP ocorre o mesmo, sendo Dmitri Mendeleiev (1834-1907) e Lothar Meyer (1830-1895) os mais citados. Essas narrativas têm em comum a ausência das mulheres e levam ao entendimento equivocado de que elas não participaram dos desdobramentos científicos que levaram à consolidação da TP.

Diante dessa realidade, este estudo buscou responder às seguintes questões de pesquisa: (i)- as mulheres cientistas contribuíram para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP? (ii)- quais foram essas contribuições? (iii) quem são essas mulheres? Buscando responder a essas perguntas, o objetivo desta pesquisa é investigar a história das mulheres cientistas e suas contribuições para a descoberta de EQs e suas implicações para o desenvolvimento da TP.

Antes de prosseguir com a metodologia e resultados, o tópico a seguir discute os motivos da invisibilização das mulheres ao longo da História da Ciência.

AS MULHERES NA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Desde a Pré-História as mulheres têm contribuído para a construção de conhecimentos sobre as plantas, medicina e astronomia, por exemplo (Santos; Tosi, 1996). No entanto, quando esses campos se profissionalizaram e institucionalizaram os homens passaram a dominá-los e se apropriaram dos conhecimentos produzidos pelas mulheres (Santos; Tosi, 1996; Trindade; Beltran; Tonetto, 2017; González; Sedeño, 2002).

As mulheres detinham muitos conhecimentos técnicos sobre a manipulação de ervas, produção de chás, cosméticos, etc. Quando os conhecimentos técnicos passaram a ser revalorizados, no período do Renascimento (período da história da Europa entre os séculos XIV e XVI), as práticas desenvolvidas tradicionalmente pelas mulheres (infusões, tingimento de tecidos, destilações, etc.) foram colocadas à margem do conhecimento

produzido pela Filosofia Natural que começava o processo de revolução que daria origem à Ciência Moderna (Trindade; Beltran; Tonetto, 2017). Dessa forma, desde o início da Ciência Moderna as mulheres foram excluídas apenas em função do gênero.

Elas ficaram de fora das sociedades científicas e das universidades europeias desde a criação desses espaços de debates e produção de conhecimentos científicos. Mais tarde, quando a História da Ciência desses ambientes foi escrita, as mulheres quase não foram retratadas (Jones; Martin; Wolf, 2022). O acesso às universidades só ocorreu na Europa no final do século XIX (Schiebinger, 2001). Na Royal Society, criada em 1660, as primeiras mulheres foram admitidas apenas em 1945. Na Paris Academy of Sciences, fundada em 1666, elas foram eleitas somente a partir de 1979. Ainda no início do século XX, a carreira científica era vista como inapropriada para as mulheres (Chassot, 2017). Daí a negação ao acesso nas universidades e a ausência na produção científica institucionalizada.

Algumas mulheres não tiveram seus nomes reconhecidos porque trabalhavam ao lado de cientistas renomados e numa época em que elas não eram consideradas parte da comunidade científica. Nesse sentido, pode-se citar o caso de Marie-Anne Pierrette Paulze-Lavoisier que colaborou com Lavoisier, porém nunca foi reconhecida enquanto produtora de conhecimento científico (Bret; Kawashima, 2019).

Por muito tempo, as mulheres cientistas tiveram suas contribuições científicas atribuídas a colegas homens, orientadores ou maridos. Por exemplo, no início de sua carreira científica os resultados das pesquisas desenvolvidas por Marie Curie, codescobridora do polônio e do rádio, eram atribuídos exclusivamente ao seu marido, o físico francês Pierre Curie (1859-1906). Para muitos, Marie Curie era considerada apenas sua assistente de pesquisa (Quinn, 1997). De tão comum, a apropriação das descobertas e invenções das mulheres pelos homens, ganhou um nome 'Efeito Matilda' (Rossiter, 1993).

As mulheres ainda se utilizaram de estratégias relacionadas ao seu nome para garantir a sua permanência no campo científico. Algumas, como a Matemática francesa Sophie Germain (1776-1831), utilizavam pseudônimos masculinos, enquanto outras assinavam utilizando as iniciais e seus sobrenomes. Esse foi o caso da física austríaca Lise Meitner (1878-1968),

codescobridora do protactínio (Pa), que assinava os artigos como 'L. Meitner'. No início do século XX, o editor de uma enciclopédia se recusou a publicar um verbete sobre radioatividade escrito por ela quando soube que o sobrenome 'Meitner' se referia a uma mulher (Sime, 1997).

Outra dificuldade relaciona-se à mudança de sobrenome após o casamento cuja consequência imediata é a separação da produção científica em antes e após o matrimônio. Nesse sentido, pode-se citar o caso de Ida Eva Tacke (1896-1978), química alemã codescobridora do rênio. Após casar-se com o também cientista alemão Walter Noddack (1893-1960), ela adotou o sobrenome do marido, o que causou certa confusão, pois acreditava-se que Ida Tacke e Ida Noddack eram cientistas diferentes.

As mulheres cientistas preferem começar suas pesquisas em temas ou campos recém descobertos (Sedeño, 1993). Um exemplo disso é a radioatividade. Se na primeira metade do século XX, quando começaram as primeiras pesquisas nesse campo, diversas mulheres se destacaram (Marie Curie, Lise Meitner, Irène Joliot-Curie, Marguerite Perey), a partir da segunda metade, quando os homens já o dominavam, poucas estiveram em evidência (Rayner-Canham; Rayner-Canham, 1997).

A peneira do tempo selecionou quais evidências históricas chegariam aos historiadores da Ciência, assim como quem fez anotações, escreveu o que lhe chamou a atenção. Considerando que a maioria dos historiadores, sobretudo no passado, era homem, a história escrita por eles é masculina (Sedeño, 2003). Além disso, por muito tempo a História da Ciência foi escrita na perspectiva, já ultrapassada, que enfatizava as descobertas dos grandes nomes, geralmente homens (Sedeño, 1992).

Por não terem o direito a possuir bens, no passado, as mulheres eram impedidas de registrar patentes em seus nomes. Dessa forma, muitas invenções foram registradas em nome de homens, geralmente parentes, amigos ou maridos (González; Sedeño, 2002). Daí surge a sensação que mulheres não contribuíram com o desenvolvimento tecnológico.

Além de não registrarem suas invenções, muitos produtos domésticos criados por mulheres não são considerados como avanços tecnológicos, tais como: frauda descartável, mamadeira, máquina de lavar roupas, etc. (González; Sedeño, 2002; Sedeño, 1998). Nesse sentido, para Sedeño (1998, p. 127,

tradução da autora), “[...] o tecnológico, se defina como se defina, se caracteriza de maneira que se excluem as tecnologias inventadas pelas mulheres ou usadas majoritariamente por elas”.

Pelo exposto verificou-se diversos mecanismos utilizados para excluir as mulheres do desenvolvimento científico e tecnológico. Os motivos citados ainda não esgotam as possibilidades de explicar a ausência das mulheres ao longo da História da Ciência e da Tecnologia.

No tópico a seguir será abordada a metodologia de pesquisa utilizada no presente estudo.

METODOLOGIA

Este é um estudo histórico do tipo ‘*Longue Durée*’ ou seja, de longa duração, pois retrata episódios históricos numa faixa de tempo de aproximadamente 200 anos, que vai das primeiras tentativas de sistematização dos EQs, no início do século XIX, até as últimas descobertas de EQs no começo do século XXI. Segundo Grote (2015, p. 1, tradução da autora), “[...] uma *longue durée* poderia se referir a episódios históricos marcados por continuidade no sentido de um “contemporâneo do não contemporâneo”.

Nesse sentido, as descobertas e as tentativas de sistematização dos EQs são episódios históricos marcados pela continuidade das propostas de organização que culminaram com a consolidação da TP no século XX. Do século XIX ao século XXI foram descobertas dezenas de EQs que provocaram continuamente a remodelação da TP para acomodá-los. Muitas dessas descobertas tiveram a participação direta (descoberta ou codescoberta) ou indireta das mulheres (invenção de equipamentos, formulação de conceitos ou teorias, produção de evidências, etc.).

Esta pesquisa apoia-se em pressupostos teóricos e metodológicos da Historiografia da Ciência Contemporânea, que trouxe a revalorização das técnicas, dos conhecimentos e dos personagens esquecidos pela Historiografia da Ciência Tradicional (Goldfarb, 1994; Goldfarb; Ferraz; Beltran, 2004).

Afastando a neutralidade da Ciência, Martins (2010, p. 6), afirma que: “Não é possível uma narrativa histórica totalmente neutra; mas pode-se deixar explícito, para o leitor, que se trata de um resumo de uma história mais complexa,

e que a seleção e as conexões apresentadas são fruto da mente do historiador”. Nesse sentido, destaca-se que a narrativa histórica apresentada neste estudo não é neutra, mas assume pressupostos da crítica feminista em relação à Historiografia da Ciência Tradicional.

Para reconstruir essa história da descoberta dos EQs e suas implicações para o desenvolvimento da TP foram consultadas fontes primárias e secundárias. Foram consultadas fontes primárias de duas origens: (i)- artigos originais nos quais as descobertas de EQs foram anunciadas (Quadro 1); (ii)- pareceres técnicos nos quais a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) chancelou a descoberta dos EQs transurânicos (Quadro 2).

Quadro 1 – Artigos que divulgaram a descoberta de elementos químicos.

Elemento	Descobridora ou Codescobridora	Título	Ano
Polônio	Marie Curie et al.,	Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende	1898
Rádio	Marie Curie et al.,	Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende	1898
Protactínio	Lise Meitner et al.,	Die muttersubstanz des actiniums, ein neues radioaktives element von langek lebensdauer	1918
Rênio	Ida Tacke (Noddack) et al.,	Die Ekamangane / Röntgenspektroskopischer Teil	1925
Frâncio	Marguerite Perey	Sur un élément 87, derivé de l'actinium	1939
Astato	Yvette Cauchois et al.,	Spectres de l'émission propre ondulatoire du radon et de ses dérivés. Rayes attribuables à l'élément 85.	1939
Rutherfórdio	Pirkko Eskola et al.,	Positive identification of two alpha-particle-emitting isotopes of element 104	1969
Dúbnio	Pirkko Eskola et al.,	New element hahnium, atomic number 105	1970
Seabórgio	Carol Alonso et al.,	Element 106	1974
Fleróvio	Nancy Stoyer, Dawn Shaughnessy, Jacqueline Kenneally et al.,	Measurements of cross sections and decay properties of the isotopes of elements 112, 114, and 116 produced in the fusion reactions $^{233,238}\text{U}$, ^{242}Pu , and $^{248}\text{Cm}+^{48}\text{Ca}$	2004
Moscóvio	Julie Ezold, Dawn Shaughnessy et al., Nancy Stoyer	Synthesis of a New Element with Atomic Number Z = 117	2010

	et al.,	Investigation of the $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ reaction products previously observed in the experiments on elements 113, 115, and 117	2013
Livermório	Nancy Stoyer, Dawn Shaughnessy, Jacqueline Kenneally et al.,	Measurements of cross sections for the fusion-evaporation reactions $^{244}\text{Pu}(^{48}\text{Ca},xn)^{292-x}$ 114 and $^{245}\text{Cm}(^{48}\text{Ca},xn)^{293-x}$ 116	2004
Tennesso	Julie Ezold, Dawn Shaughnessy et al., Nancy Stoyer et al.,	Synthesis of a New Element with Atomic Number $Z = 117$ Production and Decay of the Heaviest Nuclei $^{293,294}117$ and $^{294}118$	2010 2012
Oganessônio	Nancy Stoyer, Dawn Shaughnessy, Jacqueline Kenneally et al.,	Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the ^{249}Cf and $^{245}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$ fusion reactions	2006

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 2 apresenta os pareceres técnicos nos quais a IUPAC reconheceu a descoberta de alguns EQs transurânicos que apresentam mulheres cientistas como descobridoras ou codescobridoras:

Quadro 2 – Pareceres da IUPAC sobre a descoberta de elementos transurânicos.

Elemento (Z)	Título do Parecer	Ano
Rutherfórdio (104) Dúbnio (105) Seabórgio (106)	Discovery of the Transfermium Elements	1992
Fleróvio (114) Livermório (116)	Discovery of the elements with atomic numbers greater than or equal to 113	2011
Moscóvio (115) Tennesso (117)	Discovery of the elements with atomic numbers $Z = 113, 115$ and 117	2016
Oganessônio (118)	Discovery of the element with atomic number $Z = 118$ completing the 7th row of the periodic table	2016

Fonte: Elaborado pela autora.

Por sua vez, as fontes secundárias correspondem a livros escritos por historiadores da ciência que se dedicaram à pesquisa sobre a história da descoberta dos EQs (Quadro 3).

Quadro 3 – Fontes secundárias sobre a descoberta de elementos químicos.

Autores	Título	Ano
Ball, P.	The Elements: a visual history of their discovery	2021
Chapman, K.	Superheavy: making and breaking the periodic table	2019
Fontani, M.; Costa, M.;	The Lost Elements: The Periodic Table's Shadow Side	2015

Orna, V.		
Hoffman, D. C.; Ghiorso, A.; Seaborg, G. T.	The Transuranium People: the inside history	2001
Lykknes, A.; Van Tiggelen, B.	Women in their Elements: selected women's contributions to the periodic system	2019
Marshall, J.	Discovery of the Elements: a Search for the fundamental principles of the universe	2002
Scerri, E.	A Tale of 7 Elements	2013
Scerri, E.	The Periodic Table: Its Story and Its Significance	2020
Weeks, M. E.	Discovery of the Elements	1960

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dessas fontes bibliográficas foi possível estabelecer a autoria ou coautoria de mulheres cientistas em relação à descoberta de EQs e as implicações para o desenvolvimento da TP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados em dois tópicos. No primeiro, serão discutidas as contribuições das mulheres cientistas para a descobertas de EQs. Por sua vez, o segundo tópico abordará as contribuições das mulheres para o desenvolvimento da TP.

DESCOBRIDORAS E CODESCOBRIDORAS DE ELEMENTOS QUÍMICOS

A pesquisa histórica revelou que quatorze mulheres participaram diretamente da descoberta de quatorze EQs. O Quadro 4 apresenta algumas informações sobre essas cientistas e suas descobertas:

Quadro 4 – Elementos químicos e suas descobridoras e codescobridoras.

Elemento Químico (zSímbolo)	Descobridora(s)	País(es) / Ano da Descoberta
Polônio (⁸⁴ Po)	Marie Curie (1867-1934)	França / 1898
Rádio (⁸⁸ Ra)	Marie Curie (1867-1934)	França / 1898
Protactínio (⁹¹ Pa)	Lise Meitner (1878-1968)	Alemanha / 1918
Rênio (⁷⁵ Re)	Ida Noddack (1896-1978)	Alemanha / 1925
Frâncio (⁸⁷ Fr)	Marguerite Perey (1909-1975)	França / 1939
Astato (⁸⁵ At)	Yvette Cauchois (1908-1999)	França / 1939
Rutherfordio (¹⁰⁴ Rf)	Pirkko Eskola (1949-presente)	EUA / 1969
Dúbnio (¹⁰⁵ Db)	Pirkko Eskola (?-presente)	EUA / 1970

Seabórgio ($_{106}\text{Sg}$)	Carol Alonso (1941-presente)	EUA / 1974
Fleróvio ($_{114}\text{Fl}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente); Nancy Stoyer (?-presente); Jacqueline Kenneally (?-presente)	EUA - Rússia / 2004
Moscóvio ($_{115}\text{Mc}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente); Julie Ezold (?-presente); Nancy Stoyer (?-presente);	EUA - Rússia / 2010
Livermório ($_{116}\text{Lv}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente); Nancy Stoyer (?-presente); Jacqueline Kenneally (?-presente)	EUA - Rússia / 2004
Tennesso ($_{117}\text{Ts}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente); Julie Ezold (?-presente); Nancy Stoyer (?-presente); Rose Boll (?-presente); Shelley Van Cleve (?-presente); Clarice Phelps (?-presente);	EUA - Rússia / 2010
Oganessônio ($_{118}\text{Og}$)	Dawn Shaughnessy (1971-presente); Nancy Stoyer (?-presente); Jacqueline Kenneally (?-presente)	EUA - Rússia / 2006

Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar de existirem, essas contribuições científicas quase não são divulgadas ou discutidas. A seguir serão apresentados esboços biográficos das cientistas que desempenharam papéis de descobridoras ou codescobridoras e descrições dessas descobertas.

Marie Curie – Polônio e Rádio

Em 1891, com o apoio da família, Maria Salomea Sklodowska (1867-1934) deixou a Polônia, seu país de origem, e foi para a França estudar Ciências Físicas e Matemática em Paris. Ao final da graduação, ela conheceu Pierre Curie (1859-1906), um professor de Física, com quem se casou em 1895 (Curie, 2011). A jovem senhora, naturalizada francesa, agora chamada Marie Curie, ingressou no doutorado em 1897, com o objetivo de investigar os até então chamados ‘raios Becquerel’, emissões de origem desconhecida observadas, pela primeira vez, em sais de urânio pelo físico francês Antoine-Henri Becquerel (1852-1906).

Inicialmente, Marie Curie detectou a emissão de raios Becquerel por outras substâncias, além do urânio, e chamou esse fenômeno de radioatividade. Marie Curie percebeu que alguns minerais contendo urânio eram mais radioativos do que o próprio metal. Essa observação levantou à hipótese de que esses minerais poderiam conter EQs desconhecidos mais radioativos que o urânio (Curie, 2011). Ao perceber o pioneirismo da pesquisa e a magnitude do

trabalho necessário para tentar isolar os supostos novos EQs, Pierre Curie juntou-se à Marie Curie nessa empreitada.

Para testar a hipótese, o casal Curie analisou a pechblenda (U_3O_8), minério de urânio mais radioativo. A análise química produziu duas frações radioativas, uma contendo bismuto e outra contendo bário. Ao investigar a primeira, foi possível obter uma mistura de bismuto cerca de quatrocentas vezes mais emissora de raios Becquerel que o urânio (Roqué, 2019a). Considerando que os EQs radioativos conhecidos já haviam sido removidos e que a fração continuava fortemente radioativa, eles concluíram que havia na amostra um novo EQ radioativo e o denominaram polônio (Po), em homenagem à terra natal de Marie Curie.

Em 1910, Marie Curie e o químico francês André Debierne (1874-1949) obtiveram o espectro de emissão do polônio. Posteriormente, a física francesa Yvette Cauchois (1908-1999) e a radioquímica polonesa Sonia Cotelle (1896-1945) ajudaram a determinar o número atômico do polônio ($Z = 84$) por meio da espectroscopia de raios-x (Egdell e Bruton, 2020).

A outra fração contendo bário era cerca de 900 vezes mais radioativa que o urânio e a partir dela foi possível identificar, no final de 1898, mais um EQ, chamado de rádio (Ra), por causa da intensa emissão de raios. O espectro de emissão da amostra EQ químico conhecido (Roqué, 2019a). Em 1907, Marie Curie determinou o seu peso atômico (226,2u) e em 1910 isolou o rádio ($Z=88$) em sua forma metálica (Curie, 2011).

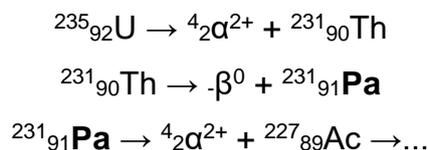
Por suas pesquisas pioneiras sobre radioatividade, Marie Curie compartilhou o prêmio Nobel de Física, em 1903, com Pierre Curie e Henri Becquerel. Em 1911, ela foi laureada individualmente com o Nobel de Química “Em reconhecimento de seus serviços para o avanço da Química pela descoberta dos elementos Rádio e Polônio, pelo isolamento do Rádio e pelo estudo da natureza e dos compostos desse elemento notável” (Nobel Foundation, 2024, on-line, tradução da autora). Em 1945, ela e Pierre Curie foram eternizados na TP através do nome do EQ 96, o cúrio (Cm).

Lise Meitner – Protactínio

Após concluir o doutorado na Universidade de Viena, a física austríaca Lise Meitner (1878-1968) foi para a Alemanha em busca de uma oportunidade de trabalho (Sime, 1997). Em 1913, trabalhando no Instituto de Química Kaiser Wilhelm, em Berlim, ela e o químico alemão Otto Hahn (1879-1968) iniciaram uma pesquisa com o objetivo de identificar a espécie química cuja desintegração radioativa espontânea gerava actínio ($Z=89$).

Nessa época, acreditava-se que o actínio seria produzido pela emissão de uma partícula α por um radioisótopo do EQ de número atômico 91, até então desconhecido (Roqué, 2019b). Na busca por este novo EQ, Meitner e Hahn analisaram sais derivados da pechblenda. Após cinco anos de trabalho, em 1918, eles anunciaram a descoberta desse EQ, chamado de protactínio ($Z=91$).

Meitner e Hahn detectaram a emissão de partículas α pelo EQ 91 e acompanharam a produção de actínio. O protactínio é um dos radioisótopos produzidos ao longo da série de decaimento espontâneo do urânio-235:



Meitner não foi laureada com o prêmio Nobel, apesar das 19 nomeações em Química e das 30 nomeações em Física (Nobel Foundation, 2024). Em 1997, ela foi homenageada com o nome do elemento químico 109, o meitnério (Mt).

Ida Noddack – Rênio

Ida Eva Tacke (1896-1978) nasceu em Lackhausen, Alemanha. Estudou engenharia metalúrgica e doutorou-se em Química Orgânica em 1921 (Marshall, 2018). Após casar-se, em 1926, com o químico alemão Walter Noddack (1893-1960) ela adotou o sobrenome do marido. Em 1925, o casal, juntamente com o químico alemão Otto Berg (1873-1939), anunciaram a descoberta de dois EQs: rênio (Re) e masúrio (Ma) (atualmente chamado de tecnécio).

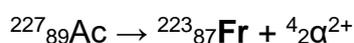
O rênio ($Z=75$) foi encontrado após a realização de análises químicas em amostras dos minerais columbita [(Fe,Mn)Nb₂O₆], tantalita [(Fe,Mn)Ta₂O₆] e

wolframita [(Fe,Mn)WO₄]. Seu nome homenageia o rio Reno, principal curso de água da região em que a sua codescobridora nasceu. Além de caracterizar o rênio por meio da espectroscopia de raios-x, os Noddack isolaram 1g desse EQ em 1929 e determinaram as propriedades físicas e químicas, o que afastou qualquer contestação sobre a descoberta (Marshall, 2018).

Por essas contribuições, Ida Noddack foi nomeada ao Nobel em Química em três oportunidades (1933, 1935 e 1937), mas não foi laureada. A descoberta do masúrio é alvo de discussões, pois há evidências de que o casal Noddack teria detectado esse EQ em minerais contendo urânio (Fernandes, 2022). Contudo, questionamentos sobre os dados do espectro de raios-x e a incapacidade de isolar o masúrio minaram a credibilidade dessa descoberta.

Marguerite Perey – Frâncio

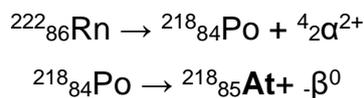
A química francesa Marguerite Perey (1909-1975) iniciou sua carreira como assistente de pesquisa de Marie Curie no Instituto do Rádio em 1929. Dez anos depois, enquanto pesquisava o decaimento do actínio, ela observou a presença de um radioisótopo que apresentava meia-vida de 20 minutos e que se precipitava em soluções de perclorato de cézio (Adloff; Kauffman, 2005). A partir dessas evidências, ela concluiu que se tratava do EQ de número atômico 87, formado a partir da emissão de uma partícula α por núcleos de actínio:



Considerando suas propriedades típicas de um metal alcalino, o novo EQ foi posicionado abaixo do cézio na tabela periódica e o nome escolhido foi frâncio (Fr), em homenagem ao país natal de Perey.

Yvette Cauchois – Astató

A química francesa Yvette Cauchois (1908-1999) e o físico romeno Horia Hulubei (1896-1972) detectaram o EQ de número atômico 85 ao investigarem a desintegração de amostras radioativas de radônio:



Durante o doutorado, Cauchois desenvolveu um espectrômetro de raios-x de alta resolução que tornou possível detectar linhas de emissão de raios-x de baixa intensidade, típicas de terras raras, gases nobres e EQ pesados (Van Tiggelen, 2019). Em 1939, utilizando esse equipamento, conhecido como espectrógrafo de Cauchois, ela e Hulubei detectaram o frâncio entre os produtos da desintegração do radioisótopo ${}^{222}\text{Rn}$.

Apesar dessas evidências, a descoberta não foi reconhecida por todos os membros da comunidade científica, pois, entre outras exigências, havia a necessidade de isolar e caracterizar o novo EQ. No ano seguinte, um grupo de cientistas estadunidenses sintetizaram o EQ de número atômico 85 artificialmente, caracterizaram e sugeriram seu nome definitivo: astato, que deriva da palavra grega 'astatos', instável.

A partir de 1942, por meio de uma série de publicações, as cientistas da Universidade de Viena Berta Karlik (1904-1990) e Traude Bernert (1915-1998) evidenciaram que o frâncio poderia ser encontrado em produtos da desintegração radioativa do radônio. As cientistas austríacas observaram a emissão de partículas α por produtos de desintegração dos radioisótopos ${}^{222}\text{Rn}$, ${}^{220}\text{Rn}$ e ${}^{219}\text{Rn}$. As pesquisas realizadas por elas corroboravam com os resultados obtidos por Hulubei e Cauchois (Thornton; Burdette, 2010).

Em 1941, o cientista português Manuel Valadares (1904-1982), realizou estudos sobre o espectro de raios-x do radioisótopo ${}^{222}\text{Rn}$ na Universidade de Lisboa. Nesses estudos, assim como Hulubei e Cauchois, Valadares encontrou linhas espectrais que poderiam ser atribuídas ao EQ de número atômico 85. Devido às precárias condições das comunicações científicas durante a 2^o Guerra Mundial, Hulubei teve contato com o trabalho de Valadares quando visitou Portugal em 1942 (Thornton; Burdette, 2010).

Segundo Thornton e Burdette (2010), Hulubei e Cauchois tinham amostras de frâncio, contudo há dúvidas se o espectrômetro de raios-x que eles dispunham seria capaz de detectá-lo. Além disso, o critério para a descoberta de novos EQs mudou com o tempo. Na década de 1920, quando a espectroscopia de raios-x era suficiente para a descoberta de um EQ, a reivindicação de Hulubei

e Cauchois seria aceita sem maiores questionamentos (Thornton; Burdette, 2010). Segundo KostECKA (2020), os motivos para o descrédito da descoberta de Hulubei e Cauchois envolvem: (i)- pequeno tamanho da amostra de átomos do EQ de número atômico 85; (ii)- possíveis interferências de outros EQs no espectro; (iii)- outras reivindicações de descoberta desse Eq haviam sido refutadas; (iv)- comunicação científica precária durante a 2ª Guerra Mundial; (v)- Hulubei havia alegado erroneamente a descoberta do frâncio anteriormente.

A esses motivos, Thornton e Burdette (2010) acrescentam que as línguas nas quais os trabalhos de Hulubei e Cauchois (Francês), Karlik e Bernert (Alemão) e Valadares (Italiano) foram publicados afastaram os leitores de língua inglesa e as traduções incorretas desses estudos levaram a conclusões errôneas sobre a descoberta do frâncio. Além disso, motivações pessoais do químico austríaco Friedrich Adolph Paneth (1887-1958), líder do comitê de nomenclatura da IUPAC, podem ter pesado a favor da reivindicação dos cientistas estadunidenses (Thornton; Burdette, 2010).

A descoberta do astato é uma controvérsia científica em aberto na História da Química, pois não há um consenso entre os historiadores. Dessa forma, existem diferentes relatos para essa descoberta:

Na maioria das fontes modernas de língua inglesa Corson, Segrè e MacKenzie³⁴ são creditados exclusivamente como os descobridores do astato. Os textos em língua alemã tendem a creditar ao grupo LBL³⁵ a descoberta e a menção que Karlik encontrou astato em fontes naturais em 1942. Autores da França e da Europa Oriental reconhecem frequentemente a contribuições de Hulubei e Cauchois para a descoberta do elemento 85 (Thornton; Burdette, 2010, p. 94, tradução da autora).

Os critérios para a descoberta de um EQ foram definidos após muitos deles terem sido descobertos. Além disso, esses critérios mudaram com o tempo. Em relação à descoberta do astato, as evidências sugerem que: (i)- Hulubei e Cauchois o detectaram pela primeira vez em amostras de radioisótopos de radônio a partir da espectroscopia de raios-x em 1939; (ii)- cientistas do Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) o sintetizaram e

³⁴ Cientistas creditados em países de Língua Inglesa pela descoberta do astato.

³⁵ Sigla antiga do atual Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).

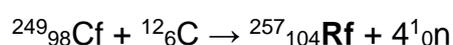
mensuraram algumas das suas propriedades físicas e químicas pela primeira vez em 1940; (iii)- Karlik e Bernert o detectaram em amostras de radioisótopos de radônio a partir da emissão de partículas α por radionuclídeos de astato em 1942. Segundo Thornton e Burdette (2010), qualquer um desses grupos de cientistas poderia ser considerado descobridor do astato.

Pirkko Eskola – Rutherfordio e Dúbnio

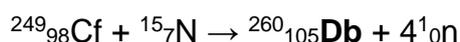
Pirkko Eskola, física finlandesa, fez parte da equipe do LBNL que descobriu os EQs rutherfordio (Rf) e dúbnio (Db) (Hoffman et al., 2001). Nesse período, ela estava fazendo intercâmbio em Berkeley, coletando dados para sua tese de doutorado. Enquanto seus colegas executavam a parte experimental no reator nuclear, Eskola estudava os dados armazenados no computador, procurando assinaturas da existência dos novos EQs (Frederick-Frost, 2021).

Pirkko Eskola, na época uma jovem loura, era uma figura incomum em laboratórios de pesquisas Nucleares nos Estados Unidos na década de 1970. Segundo Chapman (2019), quando ela telefonava para outros laboratórios para tratar de assuntos científicos, as pessoas perguntavam se ela era a secretária. O sexismo na Ciência é uma barreira a ser derrubada (González; Sedeño, 2002).

O rutherfordio ($Z=104$) foi sintetizado, em 1969, em um reator nuclear por meio da reação a seguir:



Por sua vez, o dúbnio ($Z=105$) foi sintetizado pela mesma equipe de cientistas, em 1970, utilizando a mesma técnica:



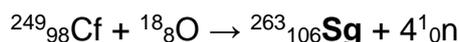
Os cientistas do LBNL compartilham a descoberta do dúbnio com a equipe de cientistas soviéticos do Joint Institute for Nuclear Research (JINR) que sintetizaram o dúbnio, em 1968 (Hoffman et al., 2001).

A denominação rutherfordio homenageia o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), um dos cientistas que mais contribuiu para a

compreensão da estrutura do átomo e da radioatividade. A designação dúbnio é uma referência à Dubna, cidade soviética (atual Rússia) onde localiza-se o JINR.

Carol Alonso – Seabórgio

Carol Travis Alonso (1941-presente) é uma física nuclear canadense-americana. Ela fez parte da equipe de cientistas que descobriu o EQ de número atômico 106, em 1974, por meio da reação química a seguir:



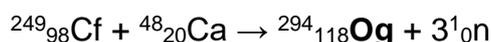
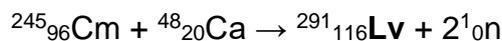
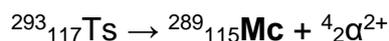
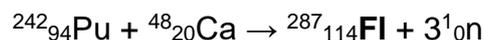
O nome desse EQ, seabórgio, é uma homenagem ao químico nuclear estadunidense Glenn T. Seaborg (1912-1999), descobridor de diversos EQs transurânicos.

Dawn Shaughnessy / Nancy Stoyer / Jacqueline Kenneally/ Julie Ezold / Clarice Phelps / Rose Boll / Shelley Van Cleve – Fleróvio, Moscóvio, Livermório, Tenneso e Oganessônio

Dawn Shaughnessy e Nancy Stoyer, são cientistas nucleares estadunidenses que participaram da descoberta de cinco EQs transurânicos: fleróvio, moscóvio, livermório, tenneso e oganessônio. Stoyer deixou o LLNL 2008, enquanto Shaughnessy tornou-se a líder do grupo de pesquisa sobre EQs superpesados. Por sua vez, Jacqueline Kenneally faz parte do LLNL desde 1991 e participou da descoberta dos EQs fleróvio, livermório e oganessônio.

Julie Ezold, Clarice Phelps, Rose Boll e Shelley Van Cleve são cientistas nucleares estadunidenses filiadas ao Oak Ridge National Laboratory (ORNL) e fizeram parte da equipe que produziu o radioisótopo ${}^{249}_{97}\text{Bk}$ utilizado na síntese do tenneso (Ts) (Ezold, 2019). Ezold liderou a equipe que produziu ${}^{249}_{97}\text{Bk}$, enquanto que Phelps, Boll e Van Cleve o purificaram (Chapman, 2019). Clarice Phelps é considerada a única mulher negra reconhecidamente envolvida na descoberta de um EQ.

Os EQs que apresentam número atômico entre 114 a 118 foram sintetizados por meio das seguintes reações a seguir:



O EQ de número atômico 114 recebeu o nome fleróvio em homenagem ao pioneiro da física nuclear russa Georgy N. Flerov (1913-1990). Por sua vez, o EQ de número atômico 115, moscóvio, homenageia a cidade de Moscou, capital da Rússia, país sede do JINR, onde esses elementos químicos foram sintetizados. Em relação ao EQ de número atômico 118, oganessônio, seu nome homenageia o físico nuclear russo Yuri T. Oganessian (1933 – presente), em reconhecimento as suas contribuições pioneiras para as pesquisas sobre EQs transactinídeos.

O nome do EQ de número atômico 116, livermório, homenageia um dos laboratórios responsáveis pela sua síntese, o Lawrence Livermore National Laboratory. Por sua vez, o nome do EQ de número atômico 117, tennesso, é uma referência ao estado norte-americano do Tennessee, onde localiza-se alguns dos laboratórios e universidades que contribuíram para a descoberta desse EQ.

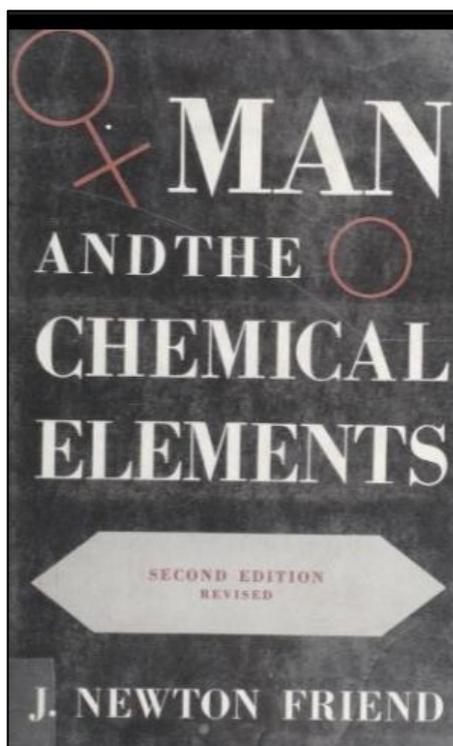
Discussão sobre as descobertas de elementos químicos com participação de mulheres cientistas

De todas as descobertas e codescobertas de EQs pelas mulheres, nenhuma recebeu tanto destaque quanto a do rádio por Marie Curie (Roqué, 2019a), que inclusive foi laureada com o Prêmio Nobel em Química pela descoberta, isolamento e determinação de suas propriedades. As demais descobertas são pouco disseminadas, sobretudo as mais recentes.

As descobertas de EQs de ocorrência natural foram mais historiadas do que as dos EQs artificiais. Dessa forma, as descobertas realizadas por Marie Curie, Lise Meitner, Ida Noddack e Marguerite Perey aparecem em livros especializados na história da descoberta de EQs (Lykknes; Tiggelen, 2019; Scerri, 2020). O caso da descoberta do astato por Yvette Cauchois é diferente, pois a maioria dos livros reconhece os estadunidenses como descobridores (Thornton; Burdette, 2010). Por sua vez, as descobertas de EQs artificiais são pouco historiadas e quando o são, seus descobridores são mencionados enquanto grupo (grupo de Berkeley, grupo de Oak Ridge, grupo do LLNL, grupo do JINR, etc.). A menção coletiva dessas descobertas omite as contribuições das mulheres, pois a ciência foi e ainda é cercada por estereótipos masculinos (Schiebinger, 2001).

Uma das fontes secundárias consultadas sobre a descoberta de EQs apresenta a seguinte capa:

Figura 1 – Capa do livro Homem e os Elementos Químicos.



Fonte: Friend (1961).

Além do título sexista, associando os EQs aos homens, a capa ainda traz o símbolo do gênero masculino (♂). Imagens como esta reforçam que os EQs pertencem exclusivamente aos homens.

Após a leitura das fontes históricas secundárias sobre a descoberta de EQs, foi evidenciado que Historiografia da Ciência não destaca as contribuições das mulheres cientistas.

CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TABELA PERIÓDICA

As mulheres contribuíram de várias formas para o desenvolvimento da TP, conforme pode ser observado no Quadro 5:

Quadro 5 – Cientistas e suas contribuições para o desenvolvimento da tabela periódica.

CIENTISTAS	CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA TP
Dorothea Juliana Wallich (1657-1725)	Identificação das propriedades químicas do cobalto antes de seu descobrimento.
Marie-Anne Pierrette Paulze-Lavoisier (1758-1836)	Auxiliou nos experimentos que levaram à descoberta do oxigênio, por seu marido, Lavoisier. Ajudou na difusão e na defesa da descoberta do oxigênio
Ellen Henrietta Swallow (1842-1911)	Suas pesquisas sobre o mineral samarskita levaram à descoberta dos EQs samário e gadolínio por outros cientistas.
Julia Lermontova (1846-1919)	Criou uma técnica para separação de EQs do grupo da platina, o que ajudou a determinar seus pesos atômicos e a posicioná-los corretamente na tabela periódica.
Margaret Todd (1859-1918)	Introdução do termo 'isótopo' para designar núcleos de mesmo número atômico, mas diferentes massas. Após o reconhecimento da isotopia, cada espaço na tabela periódica passou a ser ocupado por um EQ que representa todos os seus isótopos.
Marie Curie (1867-1934)	Desenvolveu uma técnica para detectar novos EQs radioativos a partir das emissões de partículas α , β e radiação γ .
Clara Immerwahr (1870-1915)	Suas pesquisas em eletroquímica ajudaram seu orientador a propor a noção da propriedade periódica chamada atualmente eletronegatividade.
Harriet Brooks (1876-1933)	Investigou um gás emanado pelo rádio. Posteriormente, esse gás foi reconhecido como o gás nobre radônio.
Lise Meitner (1878-1968)	Participou da descoberta da fissão nuclear, o que permitiu a síntese de dezenas de EQs transurânicos.
Ellen Gleditsch (1879-1968)	Determinou a composição isotópica do cloro (cloro-35 e cloro-37) e evidenciou a partir de amostras de diferentes países que a proporção entre os isótopos de EQs que ocorrem na natureza não muda.

Stefanie Horovitz (1887-1942)	Produziu evidências determinantes para a existência dos isótopos. Fez análises que demonstraram que o chumbo pode apresentar diferentes números de massa.
Irène Joliot-Curie (1897-1956)	Descobriu que EQs estáveis podem se tornar radioativos mediante bombardeamento com partículas alfa.
Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979)	Descobriu que o sol é formado basicamente por hidrogênio e hélio e com isso ajudou a explicar a origem dos EQs no universo.
Berta Karlik (1904-1990) / Traude Bernert (1915-1998)	Descobriram a ocorrência natural de isótopos de astato. Essa descoberta ajudou no reconhecimento de Yvette Cauchois como codescobridora do astato.
Maria Goeppert-Mayer (1906-1972)	Sua teoria da organização dos prótons e nêutrons no núcleo foi fundamental para entender a estabilidade nuclear e prever as propriedades dos EQs.
Yvette Cauchois (1908-1999)	Aperfeiçoou o espectrógrafo de raios-x de alta resolução de forma a confirmar com mais exatidão a identidade dos EQs conhecidos e detectar novas descobertas.
Chien-Shiung Wu (1912-1997)	Identificou dois isótopos de xenônio: xenônio-133 e xenônio-135 e estabeleceu sua cadeia de decaimento.
Darleane Hoffman (1926-presente)	Demonstrou que o radioisótopo férmio-257 sofre fissão espontânea. Evidenciou a ocorrência natural do radioisótopo plutônio-244. Fez parte da equipe que chancelou a descoberta do seabórgio.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Lykknes e Van Tiggelen, 2019.

As contribuições das mulheres para o desenvolvimento da TP começaram antes de Mendeleev construir a sua primeira versão da TP em 1869. Antes disso, a química russa Julia Lermontova desenvolveu uma técnica analítica de separação dos metais do grupo da platina (Boeck, 2019). Uma vez separados, foi possível determinar individualmente as suas propriedades, principalmente o peso atômico, utilizado para posicioná-los na TP. Utilizando pesos atômicos corretos desses metais, Mendeleev construiu a sua famosa versão da TP.

As contribuições científicas das mulheres foram fundamentais em um momento crucial para o futuro da TP. No início do século XX, a descoberta dos isótopos levantou questionamentos quanto à posição dos EQs na TP. Nesse contexto, uma pergunta ganhou força: Como incorporar os isótopos na TP? A resposta para essa questão ocupou a cabeça dos cientistas por alguns anos (Van Spronsen, 1969).

A química polonesa Stefanie Horovitz, junto com seu orientador, produziu as primeiras evidências confiáveis e precisas de que o chumbo oriundo da desintegração radioativa e o encontrado em minerais apresentavam diferentes

números de massa (Rayner-Canham; Rayner-Canham, 2019). Dessa forma, ela contribuiu para a consolidação do conceito de isótopo.

No entanto, pairava a dúvida: cada isótopo deveria ocupar um espaço na TP? A resposta para essa pergunta só veio em 1913, quando o físico e químico polonês Kasimir Fajans (1887-1975) sugeriu que, por apresentarem o mesmo número atômico, o conjunto dos isótopos de um determinado EQ ocuparia um único espaço na TP (Giunta, 2017). A sugestão de Fajans foi endossada pelo físico britânico Frederick Soddy (1877-1956), que apresentou nesse mesmo ano a definição para o 'isótopo', cunhado por sua amiga Margaret Todd, durante um jantar desprezioso (Hudson, 2019).

Após a introdução do número atômico como principal propriedade de um elemento químico a partir de 1913, determinar a carga nuclear por meio da espectroscopia de raios-x tornou-se uma necessidade. No entanto, haviam dificuldades, pois algumas linhas espectrais eram muito fracas, sobretudo quando se tratava de EQs gasosos ou de amostras reduzidas. Esses problemas foram solucionados por Yvette Cauchois, que ao aperfeiçoar o equipamento de espectroscopia de raios-x da época, permitiu a confirmação dos números atômicos dos EQs conhecidos e a determinação da carga nuclear de novos EQs (Van Tiggelen, 2019).

A quantidade de EQs moldou a forma da TP. As descobertas de Marie Curie e de Lise Meitner foram fundamentais para quantidade de EQs conhecidos atualmente. Marie Curie criou uma técnica para descobrir novos EQs radioativos baseando-se nas características da radiação nuclear emitida. Utilizando esse método, ela participou da descoberta do polônio e do rádio, e abriu as portas para o reconhecimento de outros EQs radioativos até então desconhecidos: actínio, astato, frâncio, protactínio e radônio. Esses EQs foram descobertos a partir da radiação emitida por seus radioisótopos de ocorrência natural. Dessa forma, Marie Curie participou da descoberta de dois EQ e contribuiu para a descoberta de outros cinco.

A contribuição de Lise Meitner foi ainda maior, pois ao desvendar a fissão nuclear, forneceu o mecanismo para a síntese de EQs transurânicos. Utilizando a fissão nuclear, foi possível sintetizar todos os EQs transurânicos conhecidos até hoje (26) e uma infinidade de isótopos utilizados na indústria e na medicina.

Além de outras contribuições científicas importantes, a química estadunidense Darleane Hoffman liderou o comitê de cientistas que chancelou a descoberta do seabórgio (Murray; Wade, 2019). A descoberta desse EQ envolveu uma disputa entre o grupo de pesquisa de Berkeley e o do JINR. Uma comissão de cientistas foi formada para avaliar o mérito das reivindicações e determinar qual grupo teria prioridade na descoberta. A reprodução dos experimentos pelos cientistas do JINR descartou a descoberta do EQ de número atômico 106. A reprodução dos experimentos do grupo de Berkeley pelo comitê, liderado por Hoffman, chancelou a descoberta do seabórgio pelos estadunidenses (Hoffman et al., 2001). No grupo de Berkeley havia uma cientista, Carol Alonso, única mulher na equipe codescobridora do seabórgio.

Pelo visto, as mulheres cientistas participaram diretamente do desenvolvimento da TP, sobretudo a partir do século XX, quando elas acessaram o Ensino Superior. Atualmente diversas mulheres pesquisam a expansão da TP a partir da descoberta de EQs superpesados. Nos Estados Unidos, Dawn Shaugnessy, Julie Ezold, Clarice Phelps, dentre outras, fazem parte de laboratórios que estão em busca dos próximos EQs que apresentam número atômico maior que 118 (Chapman, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo resgatou contribuições das mulheres para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP. Durante a pesquisa ficou evidente que a Ciência e a Tecnologia são construções humanas e que o gênero não impediu que as mulheres realizassem feitos científicos notáveis, apesar das dificuldades impostas pela sociedade e pela comunidade científica que foi e ainda são patriarcais.

Embora não seja o objetivo deste estudo, é importante enfatizar que a biografia de todas as mulheres destacadas está marcada por preconceitos relacionados unicamente ao gênero: Marie Curie teve que deixar a Polônia para acessar o Ensino Superior; Lise Meitner, quando chegou a Berlim, foi impedida de usar as instalações da Universidade de Berlim (laboratórios, banheiros, etc.), trabalhava numa carpintaria improvisada como laboratório no subsolo; Ida Noddack passou a maior parte da sua carreira trabalhando sem remuneração

nos laboratórios chefiados pelo seu marido; Harriet Brooks foi obrigada a encerrar a carreira acadêmica após o casamento, etc.

O impacto das pesquisas desenvolvidas pelas mulheres é muitas vezes eclipsado pelo fato de que a Ciência e sua História é predominantemente masculina. Apesar da popularidade da TP, poucos enxergam nela as contribuições das mulheres e os EQs descobertos por elas.

A realização desta pesquisa é o primeiro passo de um projeto maior que envolve, além do resgate, a divulgação das contribuições das mulheres para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP. A partir das informações levantadas neste estudo, pretende-se produzir recursos didáticos, palestras, minicursos e debates enfatizando a participação delas para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Durante a realização deste estudo surgiram três novos temas de pesquisa que serão abordados em outras investigações: (i)- aprofundamento biográfico sobre as mulheres que participaram das descobertas de EQs superpesados; (ii)- investigação sobre as contribuições de outras mulheres para a descoberta de EQs e para o desenvolvimento da TP; (iii)- identificação de mulheres cientistas em atividade que pesquisam sobre a expansão da TP.

Por fim, foi evidenciado que as contribuições das mulheres para o desenvolvimento científico e tecnológico não são poucas, são pouco destacadas, discutidas e premiadas. Esse quadro está mudando lentamente com a entrada de mais mulheres e de outros cientistas preocupados com a igualdade e com a equidade de gênero na Ciência e na Tecnologia.

REFERÊNCIAS

ADLOFF, J. P.; KAUFFMAN, G. B. Francium (atomic number 87), the last discovered natural element. **The Chemical Educator**, v. 10, n. 5, p. 387-394, 2005.

BOECK, G. Ordering platinum metals – the contribution of Julia Lermontova (1846/47-1919). *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

BRET, P.; KAWASHIMA, K. Madame Lavoisier's diffusion and defence of oxygen against phlogiston: her translations of Richard Kirwan's essays. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**:

- selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.
- CHAPMAN, K. **Superheavy**: making and breaking the periodic table. London: Bloomsbury, 2019.
- CHASSOT, A. **A Ciência é Masculina? É, sim senhora!** 8. ed. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2017.
- CURIE, M. **Escritos Biográficos**. Barcelona: Edicions UAB, 2011.
- EGDELL, R. G.; BRUTON, E. Henry Moseley, X-ray spectroscopy and the periodic table. **Philosophical Transactions A**, v. 378, n. 2180, p. 1-33, 2020.
- EZOLD, J. Life as an element discoverer. **Chemical & Engineering News**, v. 97, n.31, p. 34-35, 2019.
- FERNANDES, L. S. Uma discussão sobre a descoberta do tecnécio à luz de alguns aspectos da natureza da Ciência. **Química Nova na Escola**, v. 43, n. 3, p. 305-310, 2022.
- FREDERICK-FROST, K. The life and career of James Andrew Harris: let's ask more of history. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 4, p. 1242-1248, 2021.
- FRIEND, J. N. **Man and the Chemical Elements**. New York: Charles Scribner's Sons. 2. ed. 1961.
- GIUNTA, C. J. Isotopes: identifying the Breakthrough publication. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 103-111, 2017.
- GOLDFARB, A. M. A. **O Que É História da Ciência?** São Paulo: Brasiliense, 1994.
- GOLDFARB, A. M. A.; FERRAZ, M. H. M.; BELTRAN, M. H. R. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. *In*: GOLDFARB, A. M. A.; BELTRAN, M. H. R. (Orgs.). **Escrevendo a História da Ciência**: tendências, propostas e discussões historiográficas. São Paulo: EDUC / Livraria da Física / FAPESP, 2004. p. 49-73.
- GONZÁLEZ, M. I.; SEDEÑO, E. P. Ciencia, Tecnología y Género. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación**, n. 2, 2022.
- GROTE, M. What could the 'longue durée' mean for the history of modern sciences? **Fondation Maison des sciences de l'homme**, n. 98, 2015.
- HOFFMAN, D. C.; GHIORSO, A. e SEABORG, G. T. **The Transuranium People**: the inside history. London: Imperial College Press, 2001.

HUDSON, J. A. Dr Margaret Todd and the introduction of the term 'isotope'. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

JONES, C. G.; MARTIN, A. E.; WOLF, A. Women in the History of Science: Frameworks, Themes and Contested Perspectives. *In*: JONES, C. G.; MARTIN, A. E.; WOLF, A. (Orgs.). **The Palgrave Handbook of Women and Science Since 1660**. Switzerland: Palgrave Mcmillan, 2022.

KOSTECKA, K. Astatine – The Elusive One. **Substantia**, v. 4, n. 1, p. 63-70, 2020.

LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

MARSHALL, J. L. Ida Noddack: foreteller of nuclear fission. *In*: MAINZ, V. V.; STROM, E. T. (Orgs.). **The Posthumous Nobel Prize in Chemistry**. Volume 2. Ladies in waiting for the Nobel Prize. 1. ed. Washington, D.C.: American Chemical Society, 2018. p. 105-149.

MARTINS, R. A. Seria possível uma história da ciência totalmente neutra, sem qualquer aspecto whig? **Boletim de História e Filosofia da Biologia**, v. 4, n. 3, 2010.

MURRAY, C. A.; WADE, J. A. F. The unsung heroines of the superheavy elements. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

NOBEL FOUNDATION. **Lise Meitner – Nominee in 48 nominations, never awarded**. Disponível em: https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=6097 Acesso em: 30 Jul. 2024.

NOBEL FOUNDATION. **The Nobel Prize in Chemistry 1911**. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/marie-curie/facts/>. Acesso em: 30 Jul. 2024.

QUINN, S. **Marie Curie**: uma vida. São Paulo: Scipione, 1997.

RAYNER-CANHAM, M.; RAYNER-CANHAM, G. Stefanie Horovitz: a crucial role in the discovery of isotopes. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

RAYNER-CANHAM, M.; RAYNER-CANHAM, G. **A Devotion to Their Science**: pioneer women of Radioactivity. Quebec City: McGill-Queen's University Press / Chemical Heritage Foundation, 1997.

ROQUÉ, X. Marie Sklodowska Curie – polonium and radium. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019a.

ROQUÉ, X. Lise Meitner and protactinium. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019b.

ROSSITER, M. The ~~Matthew~~ Matilda effect in science. **Social Studies of Science**, v. 23, p. 325-341, 1993.

SANTOS, A. P.; TOSI, L. Resgatando Métis: o que foi feito desse saber? **Revista Estudos Feministas**, v. 4, n. 2, p. P. 355-380, 1996.

SCERRI, E. **The Periodic Table**: its story and its significance. 2. ed. New York Oxford University Press, 2020.

SCHIEBINGER, L. **O Feminismo Mudou a Ciência?** São Paulo: EDUSC, 2001.

SEDEÑO, E. P. La enseñanza de la historia de las ciencias y los estudios sobre la mujer. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 7, p. 25-30, 1992.

SEDEÑO, E. P. Mujer y Ciencia: una perspectiva. **Arbor**, n. 565, p. 9-16, 1993.

SEDEÑO, E. P. Factores contextuales, tecnología y valores: ¿desde la periferia? **Contrastes: Revista Internacional de Filosofía**. n. extra 3, p. 119-142, 1998.

SEDEÑO, E. P. Las mujeres en la historia de la ciencia. **Quark**, n. 27, p. 60-71, 2003.

SIME, R. L. **Lise Meitner**: a life in Physics. Berkeley: University of California Press, 1997.

THORNTON, B. F.; BURDETTE, S. C. Finding eka-iodine: Discovery priority in modern times. **Bulletin for the History of Chemistry**, v. 35, n. 2, p. 86-96, 2010.

TRINDADE, L. S. P.; BELTRAN, M. H. R.; TONETTO, S. R. **Práticas e Estratégias Femininas**: histórias de mulheres nas ciências da matéria. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

VAN SPRONSEN, J. W. **The Periodic System of Chemical Elements**: a history of the first hundred Years. Amsterdam: Elsevier, 1969.

VAN TIGGELEN. Spying on shy elements: Yvette Cauchois and her spectograph. *In*: LYKKNES, A.; VAN TIGGELEN, B. (Orgs.). **Women in their Elements**: selected women's contributions to the periodic system. Singapore: World Scientific, 2019.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste estudo *multipaper* considera-se que os objetivos foram atingidos satisfatoriamente. Em relação ao primeiro objetivo específico, foi avaliada a presença das mulheres cientistas na produção científica nacional da área de Ensino de Química sobre a descoberta de elementos químicos e do desenvolvimento da tabela periódica. Nesse sentido, verificou-se que as contribuições científicas das mulheres são pouco exploradas e poucas mulheres são mencionadas nos estudos analisados. Os resultados dessa pesquisa encontram-se detalhados no *paper 1*.

Quanto ao segundo objetivo específico, foram identificadas diversas contribuições das mulheres cientistas, tanto para a descoberta de elementos químicos quanto para o desenvolvimento da tabela periódica. Foi verificado que 14 mulheres cientistas participaram da descoberta de 14 elementos químicos. Além disso, foi observado que Marie Curie contribuiu com um método de detecção de radioatividade que foi utilizado para descobrir novos elementos químicos. Além disso, Lise Meitner, uma das descobridoras do processo de fissão nuclear, contribuiu indiretamente para a descoberta de praticamente todos os elementos transurânicos. Os resultados dessa pesquisa encontram-se detalhados no *paper 2*.

No que se refere ao terceiro objetivo específico, foi construído o e-book que se encontra na próxima sessão desta dissertação. O e-book foi construído a partir utilizando a plataforma de design gráfico 'canva'. O e-book intitulado "As Mulheres Descobridoras de Elementos Químicos" apresenta 34 páginas e será disponibilizado para download no repositório de produtos educacionais da CAPES e no site do PROFQUI-UFRPE.

Por fim, espera-se que os resultados apresentados nos *papers* possam fomentar discussões em sala de aula e subsidiar a construção de materiais didáticos comprometidos com igualdade e equidade de gênero na Ciência. Além disso, espera-se que o e-book construído seja utilizado como recurso didático complementar nas aulas sobre a descoberta de elementos químicos e tabela periódica no Ensino Médio e no Ensino Superior.