

<https://doi.org/10.56117/ReSBEnQ.2024.v5.e052403>

A Tabela Periódica, os Modelos Atômicos e a Radioatividade: a materialidade na Química em episódios históricos dos séculos XIX e XX

*The periodic table, atomic models and radioactivity: materiality in chemistry
in 19th and 20th centuries historical episodes*

*Tabla periódica, modelos atómicos y radiactividad: la materialidad de la
química en episodios históricos de los siglos XIX y XX*

Fernanda Aparecida Bernardo (fabernardo@uefs.br)
Universidade Estadual de Feira de Santana
<https://orcid.org/0000-0001-6308-5206>

Lucas Bombarda Marques Gomes (lucas.bombarda@unesp.br)
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
<https://orcid.org/0000-0003-0062-297X>

Larissa Cabral (larissacabrallima@gmail.com)
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
<https://orcid.org/0000-0003-2600-4600>

Luciana Massi (luciana.massi@unesp.br)
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
<https://orcid.org/0000-0001-8761-3181>

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo interpretar o papel da materialidade do átomo na produção do conhecimento químico por meio da análise de diferentes determinações históricas ocorridas entre os séculos XIX e XX que colaboraram para a compreensão da estrutura atômica. A materialidade, presente em discussões filosóficas sobre o realismo, está relacionada ao debate da própria existência do átomo, uma vez que essa é uma questão tanto para os cientistas da época quanto para a atual Filosofia Química. O período histórico analisado é fruto de trabalhos anteriores sobre a tabela periódica, os modelos atômicos e a radioatividade, pois reconhecemos que eles representam uma síntese parcial das múltiplas determinações que corroboraram o entendimento da materialidade do átomo que temos até o momento. Assim, buscamos complementar esses trabalhos com a



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.

análise desses três episódios históricos, a qual apontou para a existência do átomo e colaborou para uma compreensão materialista da realidade, explicitando filosoficamente a importância desses conhecimentos para a Química. Com isso também foi possível traçar conexões com o ensino de Química a partir da Pedagogia Histórico-Crítica, pois a história e a filosofia dos conteúdos permitem justificá-los no currículo, além de contribuírem para o desenvolvimento de uma concepção de mundo materialista, histórica e dialética.

Palavras-chave: História e Filosofia da Química. Materialidade. Ensino de Química.

Abstract

The aim of this paper was to interpret the role of the materiality of the atom in the production of chemical knowledge, by analyzing the different historical determinations that occurred between the 19th and 20th centuries, which contributed to the understanding of atomic structure. Materiality, present in philosophical discussions about realism, is related to the debate about the very existence of the atom, since this is a question for both the scientists of the time and current chemical philosophy. The historical period analyzed is the result of previous work on the periodic table, atomic models and radioactivity, as we recognize that they represent a partial synthesis of the multiple determinations that have corroborated the understanding of the materiality of the atom that we have to date. Thus, the analysis and complementation of these three historical episodes pointed to the existence of the atom and contributed to a materialist understanding of reality, philosophically explaining the importance of this knowledge for chemistry. As a result, it was also possible to draw connections with the teaching of chemistry based on Historical-Critical Pedagogy, since the history and philosophy of the contents allow them to be justified in the curriculum, as well as contributing to the formation of a materialist, historical and dialectical conception of the student's world.

Keywords: History and Philosophy of Chemistry. Materiality. Teaching Chemistry.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue interpretar el papel de la materialidad del átomo en la producción del conocimiento químico, analizando las diferentes determinaciones históricas que tuvieron lugar entre los siglos XIX y XX, que contribuyeron a la comprensión de la estructura atómica. La materialidad, presente en las discusiones filosóficas sobre el realismo, se relaciona con el debate sobre la propia existencia del átomo, ya que se trata de una cuestión tanto para los científicos de la época como para la filosofía química actual. El período histórico analizado es el resultado de los trabajos previos sobre la tabla periódica, los modelos atómicos y la radiactividad, ya que reconocemos que representan una síntesis parcial de las múltiples determinaciones que han contribuido a la comprensión de la materialidad del átomo que tenemos hasta la

fecha. Así, el análisis y la complementación de estos tres episodios históricos apuntaron a la existencia del átomo y contribuyeron a una comprensión materialista de la realidad, explicando filosóficamente la importancia de este conocimiento para la química. Con eso, también fue posible trazar conexiones con la enseñanza de la química basada en la Pedagogía Histórico-Crítica, pues la historia y la filosofía de los contenidos permiten justificarlos en el currículo, además de contribuir para la formación de una concepción materialista, histórica y dialéctica del mundo del alumno.

Palabras clave: Historia y Filosofía de la Química. Materialidad. Enseñanza de la Química.

Introdução

Historicamente as diversas relações entre a História e a Filosofia da Ciência variaram em função da concepção da ciência e do papel que elas desempenhavam no desenvolvimento científico. Segundo Alfonso-Goldfarb (1994, p. 87), “é preciso que se olhe [...] para a história de forma filosófica e científica”. Provocados por essas relações, neste artigo reunimos três episódios históricos ocorridos na transição do século XIX para o XX com o objetivo de interpretar o papel da materialidade do átomo na produção do conhecimento químico. A materialidade é alvo de diversas pesquisas da Filosofia da Química focadas em discutir a especificidade do conhecimento químico, principalmente no que diz respeito ao realismo na Química (Hoffmann, 2007; Vihalemm, 2011). No entanto poucas adotam a nossa perspectiva teórica para estudar essa materialidade, já que nos concentramos na relação direta entre a materialidade e a existência do átomo. O reconhecimento dessa existência implica novas formas de organização das informações sobre os átomos, novos modelos atômicos e informações sobre sua estrutura e novas possibilidades de manipulação da matéria.

A justificativa para essa abordagem filosófica do problema da materialidade, partindo de uma análise historiográfica, se sustenta no entendimento de que a Filosofia da Química pode orientar a organização do currículo de Química e ajudar os educadores a promoverem melhores explicações ao ensiná-la (Lemes; Porto, 2013). Em nosso caso, adotamos a perspectiva teórica da Pedagogia Histórico-Crítica para pensar a educação e o currículo de Química visando a socialização dos conhecimentos científicos e a superação da sociedade capitalista. Essa pedagogia se funda no marxismo, tendo como objetivo desenvolver nos estudantes uma concepção de mundo materialista, histórica e dialética que será alcançada por meio da psicologia histórico-cultural e também uma concepção de

ciência alinhada com essa perspectiva (Rosa, 2018; Duarte; Massi; Teixeira, 2022). Apesar de bem fundamentada essa pedagogia ainda é pouco desenvolvida na Educação em Ciências (Massi *et al.*, 2019) e ainda menos explorada nas suas relações com a História e a Filosofia da Ciência.

Nossa concepção de ciência parte de premissas baseadas no Materialismo Histórico e Dialético (MHD) (Cheptulin, 1982), de forma que consideramos que o conhecimento sobre a natureza é temporário, relativo e aproximativo. As teorias são uma aproximação da realidade objetiva que abstrai a materialidade para a consciência humana ao isolar, classificar, diferenciar e relacionar os objetos, desvelando suas múltiplas determinações. Nesse processo de conhecer a realidade “o pensamento e a consciência existem igualmente na realidade, mas não na qualidade de realidade objetiva, não materialmente, mas sob a forma de imagens dessa realidade [...]” (Cheptulin, 1982, p. 95). Assim, entendemos que é possível se aproximar da verdade por meio de sínteses, ainda que parciais, que se enriquecem quanto mais são capazes de captar as múltiplas determinações contidas no objeto. Segundo Valero *et al.* (2022, p. 849):

O parâmetro está na superação da aparência pelo desvelamento aproximativo da essência, que, mesmo sendo sempre provisória, é concreta. Nesse sentido, o MHD não absolutiza ou cristaliza o conhecimento científico porque a realidade também não está inerte ou inserida em um sistema fechado e ideal.

Portanto consideramos a materialidade como uma propriedade intrínseca ao conhecimento científico na medida em que toma a matéria em movimento como seu objeto de estudo (investigando as interconexões entre os movimentos dos diferentes tipos de matéria, suas relações causais e suas condições de existência para poder reproduzi-las), assumindo a existência da realidade objetiva fora e independentemente da consciência e da “realidade subjetiva engendrada pela primeira, da qual é o reflexo” (Cheptulin, 1982, p. 95).

Reiterando a relação entre a História e a Filosofia da Ciência, neste estudo exploramos a categoria de materialidade por meio de três episódios históricos que são fruto de pesquisas anteriores (Bernardo, 2023; Gomes, 2023; Lima, 2024). Neles foram consultadas fontes primárias e secundárias para desenvolver estudos historiográficos sobre a tabela periódica, os modelos atômicos e a radioatividade artificial. Esses estudos buscaram contextualizar historicamente e discutir filosoficamente os conhecimentos em

questão sob uma perspectiva marxista, tendo como base ontológica e epistemológica o MHD. Sendo assim, em uma tentativa de conectá-los, observamos que, além do referencial em comum, o período histórico e as conclusões filosóficas também coincidem, já que ao considerarem a primazia da matéria e tratarem de estudos sobre a sua estrutura e as suas propriedades, todos apontam para a existência material do átomo.

Por isso, neste estudo recuperamos parte desses conteúdos, entendidos como uma sistematização de conceitos e teorias das abstrações do pensamento, ou seja, como mediadores da captação do real. Metodologicamente esta é uma pesquisa conceitual, na qual estabelecemos uma relação indireta com o objeto, pois nos voltamos para as abstrações do pensamento já sistematizadas em relação a esse objeto para interpretá-lo a partir de uma nova questão de pesquisa (Martins; Lavoura, 2018). O caminho de investigação adotado se pautou no MHD por meio da superação do empírico pelo concreto, possível somente pela análise e abstração do nosso pensamento (isolar, extrair, classificar e examinar um elemento da realidade para obter as suas múltiplas determinações) (Martins; Lavoura, 2018). No entanto, para ascender do abstrato ao concreto, foi necessário encontrar as relações e os nexos entre os diferentes elementos que são constituintes da totalidade do objeto (Martins; Lavoura, 2018). Como mencionamos, esse movimento se deu pela conexão entre as histórias que apontaram para uma aproximação teórica em torno da categoria da materialidade. Além disso, esse movimento também foi sustentado pelo acervo historiográfico composto por trabalhos de historiadores clássicos, como Bensaude-Vincent, e historiadores marxistas, como Bernal e Kedrov, que auxiliaram na identificação de aspectos dialéticos e materiais.

Nesse sentido, os três momentos históricos estão apresentados neste trabalho em ordem cronológica, a fim de destacar momentos chaves das produções dos conhecimentos em questão que explicitam o caráter materialista da Química. Junto a essa breve contextualização histórica dos episódios apresentamos nossas análises filosóficas sobre aspectos da materialidade que podem ser inferidos a partir da história. Ao reconhecermos que a Química explicita características da materialidade e da realidade, defendemos que a Filosofia da Química pode sustentar uma abordagem de ensino comprometida com o desenvolvimento de uma concepção de mundo materialista, histórica e dialética. Embora neste artigo não seja possível desenvolver essas implicações pedagógicas e curriculares, entendemos que uma concepção de Química mais esclarecida

pode orientar a adoção de perspectivas pedagógicas coerentes com esses fundamentos filosóficos e históricos.

A materialidade em episódios históricos

Apresentamos a seguir a sistematização dos três episódios históricos de modo integrado, trazendo suas implicações filosóficas para o materialismo. Tais resultados estão em ordem cronológica, partindo da segunda metade do século XIX e chegando até meados do século XX, compreendendo um período significativo da História da Ciência.

O Século XIX

O estudo da matéria pela Química teve avanço na Europa em meados do século XIX em função da proposição de novas técnicas para a caracterização e isolamento dos elementos químicos, levando ao aumento do número de elementos conhecidos pela humanidade (Targino; Baldinato, 2016). Surgiu, então, o que Tolentino, Rocha Filho e Chagas (1997) e Romero e Cunha (2021) denominam de “impulso classificatório”: tendência entre os seres humanos de estabelecer uma sistematização no estudo dos diferentes materiais e das diferentes áreas. Observamos diversas tentativas de sistematização do conhecimento, a exemplo de Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), Claude Berthollet (1748-1822), Antoine François de Fourcroy (1755-1809) e Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) que se propuseram à padronização das nomenclaturas Químicas (Romero; Cunha, 2021; Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997).

Por volta desse mesmo período a influência do sistema produtivo na ciência tornou-se mais explícita devido à importância do vapor na indústria depois da Revolução Industrial na Inglaterra: era necessário explicar teoricamente os processos que ocorriam nas máquinas por meio de leis (Kedrov, 1949). Na Química a lei periódica derivou da proposição de outras leis gerais, tais como as leis ponderais estabelecidas por Valentin Louis Georges Eugene Marcel Proust (1871-1922) e Lavoisier a partir da sistematização das reações químicas; e o modelo atômico definido por John Dalton (1766-1844), no qual a matéria seria constituída por partículas indivisíveis, os átomos, e que o peso atômico seria a propriedade que caracteriza e diferencia os elementos químicos uns dos outros (Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997).

Na tentativa de explicar a solubilidade dos gases como parte dos seus estudos meteorológicos, Dalton precisou recorrer a noções quantitativas, como o peso e o tamanho dos gases (Vidal, 1986; Viana; Porto, 2007). Assim, com os estudos em gases fluidos elásticos, ele explicou as propriedades da repulsão mútua entre os átomos com base nos princípios newtonianos (Bernal, 1969) e propôs um modelo atômico. Os átomos para Dalton não eram unidades mínimas de composição da matéria (como era para os químicos corpuscularistas), nem permitiam pressupor forças atrativas (como os newtonianos), mas unidades mínimas de combinação (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Com base nisso, Dalton conseguiu supor as relações proporcionais possíveis entre os átomos das diferentes espécies de gases e pensar uma explicação para o peso dos elementos combinados serem definidos em múltiplos, como evidenciado em seu estudo dos gases: óxido nítrico, óxido nitroso e peróxido de nitrogênio, simbolizados respectivamente por NO, N₂O e NO₂ (Bernal, 1969; Viana; Porto, 2007). Ele supôs que “as combinações químicas se fazem por unidades discretas, átomo por átomo, e [...] os átomos de cada elemento são idênticos” e enunciou a lei das proporções múltiplas – relação entre as massas dos elementos que quando unidos formam “relações múltiplas inteiras e simples” entre eles (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 164-165).

A partir de então Dalton se dedicou a determinar o peso relativo dos átomos buscando fundamentar o modelo por ele proposto. Para isso, estabeleceu como convenção o hidrogênio como unidade fixa, de forma que o peso atômico representa a quantidade que é formada na combinação mais estável de determinado elemento a um grama de hidrogênio (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996; Viana; Porto, 2007). Dessa forma, “o peso atômico vem em boa altura para ajudar a tarefa com que se defrontam os químicos: caracterizar, nomear, escrever, classificar uma população sempre crescente de substâncias simples e compostas” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 168).

O conceito de peso atômico desenvolvido pelo atomismo de Dalton combina a natureza química e a massa individual dos elementos, o que segundo Kedrov (1949) tornou possível a identificação de suas propriedades, o que posteriormente foi desenvolvido por Dmitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907), assumindo a importância da

teoria atômica de Dalton para a descoberta das leis periódicas. Assim, entendemos que o atomismo contribuiu para dar apoio ao materialismo nas ciências naturais uma vez que a existência objetiva dos átomos como partículas materiais ganhou força com a descoberta experimental de Dalton (Kedrov, 1949).

Ainda de acordo com Kedrov (1949), a dialética das relações químicas descoberta por Dalton nos compostos químicos foi estendida por Mendeleev para os elementos químicos. A novidade da teoria atômica de Dalton para a História da Ciência foi ter unido a ideia da composição definida da matéria com a ideia de sua estrutura atômica (Kedrov, 1949). Kedrov (1949) afirma que a inserção da dialética na Química se deu pela teoria atômica de Dalton, o que possibilitou a descoberta de uma lei geral (das proporções múltiplas) e da estrutura atômica interna para todas as substâncias químicas complexas, superando a dicotomia entre compostos orgânicos e inorgânicos.

Em meados de 1850, mesmo com o surgimento de novas teorias e com a descoberta de aproximadamente 60 elementos químicos, ainda havia dilemas a serem resolvidos, como é o caso das discordâncias relacionadas à classificação dos elementos e às definições dos conceitos de pesos atômicos e pesos equivalentes (Targino; Baldinato, 2016). Como apontado por Romero e Cunha (2021), essas incertezas, principalmente a definição de peso atômico e peso equivalente, foram um dos grandes entraves para a produção de uma organização dos elementos químicos.

Um aspecto destacado por Tolentino, Rocha Filho e Chagas (1997) é que a disputa entre peso atômico e peso equivalente não era apenas científica, mas ideológica, uma vez que a ideia de peso atômico pressupõe a existência concreta do átomo defendida pelos positivistas, enquanto a teoria do peso relativo não considerava a existência dos átomos, ideia essa defendida pelos relativistas. Muitos químicos positivistas relutaram em aceitar os pesos atômicos, enquanto outros passaram a utilizá-los como a característica fundamental de cada elemento e a relacioná-los a todas as outras propriedades observadas. Esses dilemas foram alvo de debates no primeiro Encontro Internacional de Químicos, na cidade de Karlsruhe, em 1860 (Targino; Baldinato, 2016). Após esse congresso, diversos cientistas, entre eles Mendeleev, se debruçaram na tentativa de organizar os elementos químicos de tal maneira que refletissem suas propriedades e tendências.

A trajetória de Mendeleev foi marcada por tentativas de didatização dos conhecimentos produzidos, recorrendo para isso à organização dos elementos químicos conforme a teoria de valência, publicada anos antes pelo químico alemão Friedrich August Kekulé (1829-1896) (Targino; Baldinato, 2016). A conclusão de que certas propriedades dos elementos são uma função periódica de seus pesos atômicos foi proposta por Mendeleev quando estudava a valência dos elementos em seus óxidos. Em 1869 Mendeleev desenvolveu as comparações horizontais entre os elementos e produziu uma primeira versão da tabela periódica, que foi objeto de um artigo no *Journal of the Russian Chemical Society* (Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997). Em sua publicação, Mendeleev organizou os elementos a partir do peso atômico crescente, levando em consideração suas propriedades químicas e físicas, além da valência dos óxidos formados pelos diferentes elementos (Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997). Targino e Baldinato (2016) e Leite (2019) destacam os espaços vazios deixados por Mendeleev nessa organização periódica, prevendo a existência de elementos ainda não descobertos àquela época. O químico russo presumiu as propriedades que esses elementos deveriam possuir, o que posteriormente foi confirmado.

Trabalhos marxistas como o de Cheptulin (1982), Gutiérrez Samanez (2020) e Imyanitov (2015) apontam para a utilização, de maneira espontânea e inconsciente, do método do conhecimento do abstrato ao concreto nas ideias de Mendeleev, método esse que busca “captar o conjunto dos nexos e relações dos diferentes elementos que constituem a totalidade de um objeto ou fenômeno” (Martins; Lavoura, 2018, p. 227). Segundo Cheptulin (1982) esse método tem início com a explicitação dos conceitos e propriedades essenciais das formações materiais (abstrato) e busca, por meio de esquematizações, explicitar os movimentos e o desenvolvimento da formação material estudada. Segundo Cheptulin (1982), Gutiérrez Samanez (2020) e Imyanitov (2015), a partir de seus estudos sobre os diferentes elementos e na busca de padrões nas propriedades físicas e químicas da matéria, Mendeleev constatou que cada elemento químico possui um peso atômico que o caracteriza. Partindo então da explicitação das relações universais entre os elementos (abstrato), Mendeleev desenvolveu seus estudos tomando como ponto de partida o peso atômico, seu desenvolvimento e as mudanças que ele ocasiona na qualidade dos elementos (Gutiérrez Samanez, 2020). Mendeleev

conseguiu, assim, captar – com ressalvas – o aspecto universal da lei periódica que relaciona as propriedades da matéria com o peso atômico dos elementos (Cheptulin, 1982; Imyanitov, 2015).

Essas ressalvas estão relacionadas ao fato de que Mendeleev não conseguiu captar o aspecto universal da lei periódica, que não é o peso atômico, mas, sim, o número atômico. Gutiérrez Samanez (2020) destaca que, apesar de não ter escolhido o aspecto mais adequado, Mendeleev previu as ligações que relacionam os diferentes elementos, e também que mesmo após a descoberta do número atômico sua tabela continuou válida, sendo usada como base para descobertas posteriores. Cabe destacar que o nível do conhecimento científico naquela época e as condições materiais disponíveis inviabilizaram que Mendeleev acessasse a estrutura atômica da matéria.

Do início a meados do Século XX

Os modelos cinéticos de meados do séc. XIX e início do séc. XX se tornaram fundamentais para explorar as “entidades discretas para além dos fenômenos contínuos e observáveis”, como a pressão osmótica de Jacobus Henricus Van’t Hoff (1852-1911) e a condutibilidade elétrica das soluções salinas de Svante Arrhenius (1859-1927), o que permitiu a união entre a eletroquímica e a química dos sais, ácidos e bases a partir dos íons (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 328). Dando subsídios para a hipótese atômica também foi descrito o movimento browniano, no qual as moléculas são caracterizadas pelo “movimento incessante e irregular de uma partícula leve em suspensão num fluido” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 329).

Em 1895, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) obteve os primeiros resultados relacionados ao fenômeno da radiação, os raios X (Cesareo, 2010). Em 1903 Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) em sua parceria científica com Antoine Henri Becquerel (1852-1908) produziram conhecimento científico capaz de interpretar o fenômeno da radioatividade espontânea. Com a ciência se desenvolvendo na física elétrica e com o retorno das discussões atomísticas eles conseguiram descobrir uma fonte de energia de ocorrência natural jamais vista que contrariava a imutabilidade dos átomos e a conservação de energia de Lavoisier (Bernal, 1969). Ernest Rutherford (1871-1937),

por sua vez, foi o responsável por caracterizar os três tipos diferentes de raios emitidos pelos elementos radioativos: alfa, beta e gama (Cesareo, 2010).

Os raios catódicos, a radioatividade, o efeito fotoelétrico, a teoria quântica e a invenção de ultramicroscópicos tornaram possível um aprofundamento ainda maior nas pesquisas sobre a hipótese atômica. Desse modo, foram atingidas confirmações experimentais das teorias cinético-moleculares de Theodor Svedberg (1884-1971), Max Seddig (1877-1963) e Jean Perrin (1870-1942), que deram apoio à teoria atômica: “o átomo era real e possuía uma subestrutura que precisava ser explorada” (Nye, 1976, p. 266-267 – tradução própria). Além disso, nenhum químico ainda tinha conseguido determinar o número de Avogadro, uma constante que aparecia em todos os modelos cinéticos (Vidal, 1986). Foi Jean Perrin quem primeiro determinou esse valor de forma precisa, já que para ele era necessário ter um experimento claro, que não abrisse margem para dúvidas sobre a existência dos átomos (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Chagas (2003, 2011) mostra que a maioria dos cientistas do século XIX não admitiam de maneira alguma a existência dos átomos e reconheciam apenas a utilidade das teorias atômicas para a Química, pois não existiam evidências experimentais ou teóricas para as explicações microscópicas, o que evidenciava influência do positivismo de Comte, que tratava apenas de objetos e fenômenos perceptíveis aos nossos sentidos. No entanto havia dificuldade em descrever teoricamente o movimento browniano pelas explicações macroscópicas. Para Chagas (2003, p. 2), a principal obra de Perrin, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1926, é muito importante, pois “o livro *Les Atomes* é, antes de tudo, uma resposta aos descrentes da realidade molecular. Ele consegue encontrar um denominador comum para um grande número de fenômenos aparentemente desconectados”.

Em consonância com Chagas (2003, 2011), Patterson (2010) afirma que todos os argumentos e evidências da realidade dos átomos e moléculas estão expostos no livro de Perrin. A comunidade química francesa do século XIX tinha um embate entre a ciência positiva, de Marcellin Berthelot (1827-1907) e Pierre Duhem (1861-1916), e os atomistas químicos, como Charles Adolph Würtz (1817-1884): mesmo assim, a descrição atômica dos produtos químicos teve um uso frequente (Patterson, 2010). Perrin “acreditava que o trabalho teórico sério seria estimulado por demonstrações reais de fenômenos físicos e

químicos” (Patterson, 2010, p. 226 – tradução própria). A realidade atômica e molecular fazia sentido para a Química, porém somente com evidências experimentais bem convincentes a teoria atômica poderia se estabelecer. A partir de um artigo de 1901 no qual apresentava seu posicionamento favorável à realidade atômica, Jean Perrin procurou modos de demonstrá-la experimentalmente, usando “sua experiência em ciência coloidal [propriedades de transporte e efeito da carga superficial] para promover a causa da natureza atômica da matéria” (Patterson, 2010, p. 224 – tradução própria). Nye (1976, p. 267 – tradução própria) também afirma que “desde os tempos de estudante, Perrin acreditava que os átomos não eram apenas entidades úteis, mas também reais”. Perrin reuniu um vasto conjunto de evidências cinéticas valendo-se de treze caminhos distintos e independentes que levam ao mesmo valor numérico de N , evidenciando, segundo ele, que os átomos, moléculas e íons existem efetivamente (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

No Congresso de Solvay, de 1911, sobre a radiação e o *quantum*, Jean Perrin apresentou as evidências da existência dos átomos e teve uma reação positiva da comunidade científica (Patterson, 2010). Ainda que alguns cientistas não tenham ficado totalmente convencidos, esse debate teve fim quando Wilhelm Ostwald (1853-1932) reconheceu as evidências experimentais da natureza discreta ou particulada da matéria, destacando o papel do trabalho de Joseph John Thomson (1856-1940) no isolamento e contagem de íons de gás e também do trabalho de Jean Perrin, evidenciando a concordância entre os movimentos brownianos e a teoria cinética dos gases (Patterson, 2010). Os experimentos de Perrin, segundo Chagas (2003, 2011) e Patterson (2010), conseguiram convencer a todos os químicos e à maioria dos físicos de que os átomos, de fato, existem.

Na mesma época, o *Institut du Radium*, fundado em 1909 e dirigido por Marie Curie (1867-1934), era um importante conjunto de laboratórios especializados em radioatividade na Universidade de Paris. Nesses laboratórios o polônio era frequentemente isolado por um método desenvolvido por Marie e estudado por Irène Joliot-Curie (1897-1956), sua filha (Gilmer, 2011). Nesse método, ampolas originalmente com rádio sofriam decomposição radioativa, formando o radônio (Rn) e uma partícula alfa, emissão que era usada para bombardear outros elementos e investigar a interação

da radiação com a matéria (Joliot-Curie, 1935). Essas experimentações buscavam rastrear as partículas que seriam emitidas a partir da sua colisão com outros núcleos atômicos (Gilmer, 2011). A existência do núcleo atômico passou a ser reconhecida em função dos estudos de Rutherford, Hans Geiger (1882-1945), Ernst Marsden (1889-1970) e Thomas Royds (1884-1955) sobre o espalhamento de partículas alfa: a partir de uma fonte de rádio bombardearam partículas alfas em lâminas metálicas, em especial de ouro (Melzer e Aires, 2015). Essas partículas alfa, positivas, ao passarem pela película de ouro, desviavam em determinados ângulos, experimento esse que permitiu o desenvolvimento do modelo de Rutherford – o átomo era constituído de um núcleo atômico centralizado, massivo e positivo, com uma eletrosfera negativa circundante (Baily, 2012).

Esse experimento deu início a uma grande modificação na tabela periódica: a substituição da ordenação a partir do número crescente de peso atômico para o número crescente do número atômico (Leite, 2019; Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997). Essa mudança foi uma contribuição do químico britânico Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915), que trabalhou no laboratório de Rutherford (Leite, 2019; Leite; Porto, 2015). Os experimentos de Moseley consistiam no bombardeando de diferentes elementos com elétrons de alta energia, que então produziam raios X (Leite, 2019; Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997).

Com os dados dos espectros de raios X, Moseley produziu um gráfico relacionando a frequência de emissão desses raios com a posição do elemento na tabela periódica, o que o fez notar uma relação matemática entre o número atômico e a frequência da radiação emitida, sendo o número atômico o resultado da raiz quadrada do inverso dessa frequência (Leite, 2019; Leite; Porto, 2015). Com tal evidência, Moseley chegou a uma propriedade mais fundamental que o peso atômico, denominada de número atômico (Leite; Porto, 2015; Tolentino; Rocha Filho; Chagas, 1997). A partir da descoberta de Moseley a tabela periódica passou a ser ordenada pelo número atômico e não mais pelo peso atômico, o que auxiliou na eliminação de diversas incongruências nas previsões de Mendeleev.

Em continuidade aos estudos de radioatividade, Niels Bohr (1885-1962) tentou repensar o modelo atômico de Rutherford de forma que fosse “capaz de reconciliar as leis gerais da mecânica com a especificidade do elemento químico” (Bensaude-Vincent;

Stengers, 1996, p. 332). O modelo de átomo de Rutherford tinha um problema físico: não era possível existir um átomo estável dado que as cargas negativas que giram em torno do núcleo positivo deveriam, de acordo com a física clássica, dissipar sua energia progressivamente (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996; Baily, 2012).

Bohr já conhecia o trabalho de Max Planck (1858-1947) sobre a radiação de um corpo negro que emitia e absorvia energia em valores discretos, em unidades denominadas *quantum* (Vidal, 1986). A teoria dos *quanta* resolveu uma dificuldade prática, mas introduziu uma dificuldade teórica na Física, uma vez que Planck atomizou a energia, ou seja, a energia emitida pelos átomos não podia ser contínua, mas em frações (*quantum*), assim como a matéria é atômica e descontínua (Bernal, 1969). Albert Einstein (1879-1955) aplicou a teoria dos *quanta* na prática e chegou aos fótons, partículas de luz que transferem *quanta* de energia para outras partículas, observando que independentemente da quantidade de fótons, a energia era constante (Bernal, 1969). A aplicação da teoria quântica aos átomos se tornou possível com a descoberta do núcleo atômico por Rutherford (Bernal, 1969).

Ao conhecer o espectro do hidrogênio, elaborado pela série aritmética de Johann Jakob Balmer (1825-1898) e Johannes Robert Rydberg (1854-1919), Bohr compreendeu que as curvas desses espectros, tanto as de absorção quanto as de emissão, eram determinadas pela mudança dos elétrons entre as órbitas, observado que cada órbita possui um valor discreto de energia (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Os átomos têm órbitas eletrônicas sucessivas que circundam um núcleo positivo, estrutura que torna possível o salto dos elétrons entre as órbitas com absorção ou emissão de “um *quantum* luminoso correspondente à diferença de energia entre as duas órbitas” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 333-334).

Esse é o átomo de Bohr, que rapidamente foi apropriado pelos químicos em função do valor intuitivo para os seus resultados e de ser aproximado à mecânica quântica. A tabela de Mendeleev passou então a ser organizada por número atômico, que determina a posição dos elementos na tabela com base no número de elétrons e de prótons dos átomos, com a mudança entre os períodos se dando pelo “preenchimento sucessivo das órbitas” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 334). Para Bohr, a periodicidade da tabela de Mendeleev era devida a um limite no número de elétrons por órbita, ou seja, ao atingir

esse limite, com a órbita cheia, mudava-se a linha na tabela (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Em pesquisas semelhantes às do laboratório de Rutherford, em 1930 Walter Bothe (1891-1957) e Herbert Becker (1887-1955) descobriram que os elementos boro (B) e berílio (Be) bombardeados por partículas alfa de polônio emitiam uma radiação de baixa intensidade, porém mais penetrante que os raios gama (Cesareo, 2010). Não tendo encontrado outra explicação, Bothe e Becker acreditavam que estavam produzindo radiação eletromagnética de ondas curtas de raios X (Gilmer, 2011).

Irène e Frédéric Joliot-Curie (1900-1958), seu marido, também notaram essa misteriosa radiação e utilizaram sua fonte de polônio para estudá-la, bombardeando o berílio. Com um contador de partículas de Geiger, eles mediram a intensidade de emissão e, com uma câmara de nuvens, fotografaram as pistas deixadas pelas partículas alfa emitidas (Gilmer, 2011). Eles encontraram a mesma radiação energética de Bothe, capaz de atingir um fino pedaço de parafina (rica em átomos de hidrogênio ligados a átomos de carbono) fazendo com que os núcleos dos átomos de hidrogênio fossem ejetados da parafina (Gilmer, 2011). Os Joliot-Curie alegaram que eram fótons energéticos, mas erraram nos cálculos da quantidade de energia para tal fenômeno e acabaram fornecendo pistas para o descobrimento do nêutron (Cesareo, 2010). Foi James Chadwick (1891-1974) que demonstrou que os nêutrons são partículas subatômicas sem carga, o que inclusive o fez ser premiado pelo Nobel de Física em 1935.

Além disso, o casal Joliot-Curie não conseguiu interpretar o movimento das partículas carregadas na câmara de nuvem de Wilson, mas suas experiências parecem ter fornecido provas para a existência do pósitron (Gilmer, 2011). Em 1932 Carl D. Anderson (1905-1991) e Victor Hess (1883-1964) oficialmente descobriram o pósitron por meio do estudo dos raios cósmicos que interagem com uma placa de chumbo na presença de um campo magnético, e ganharam o prêmio Nobel de Física em 1936 (Crossfield, 1997). Em 1933, ao perceberem que a energia necessária para tal transmutação era a mesma energia necessária para a excitação de um nêutron, o casal também mediu com precisão a massa do nêutron por meio da transmutação do boro (Cesareo, 2010).

Por meio do bombardeamento de outros átomos e da detecção dos novos elementos radioativos obtidos, Irène e Frédéric demonstraram um novo tipo de

radioatividade dos elementos químicos, a radioatividade artificial (Joliot-Curie, 1935), pelo que ambos foram premiados pelo Nobel de Química em 1935. Considerando o contexto científico da época, que abordava as partículas subatômicas e fazia surgir a físico-química, “as consequências lógicas desta descoberta foram imensas” (Bernal, 1969, p. 761), dando início ao que levaria à descoberta da fissão nuclear e conseqüentemente à utilização da energia nuclear (Cesareo, 2010). Em seu discurso Irène faz alguns destaques a respeito dessa descoberta:

A descoberta dos radioelementos teve imensas conseqüências no **conhecimento da estrutura da matéria**; o estudo dos próprios materiais e o estudo dos poderosos efeitos produzidos nos átomos pelos raios que eles emitem ocupam os trabalhadores científicos de numerosos grandes institutos de pesquisa em todos os países. [...] Os químicos não ficaram menos surpresos ao reconhecerem nesses corpos radioativos elementos que haviam sofrido **modificações na estrutura atômica que se pensava inalterável** (Joliot-Curie, 1935, grifo nosso, tradução nossa).

Ou seja, os estudos sobre radioatividade foram capazes de mudar a concepção de átomos e até mesmo de dividir as opiniões de grandes cientistas da época. Entre 1890 e 1950 foram feitas descobertas acerca dos raios X; da estrutura dos cristais; da radioatividade e suas transformações, por Becquerel e os Curie; do núcleo atômico; do elétron, por Thomson; do nêutron e da fissão nuclear; além da elaboração da teoria dos quantas, por Planck; da teoria da relatividade restrita e geral, por Einstein; e da teoria do átomo, por Rutherford-Bohr (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent, 1996; Bernal, 1969). A ciência foi favorecida tanto pelo desenvolvimento dos estudos radioativos por meio do aprimoramento de fontes radioativas, como o polônio e o rádio, e do evidenciamento da não homogeneidade e simplicidade dos elementos (Bernal, 1969), quanto pela apropriação dos fenômenos da matéria pelo homem, a exemplo da radioatividade artificial, que promoveu a criação de novas áreas da ciência e de diferentes tecnologias. Assim, os elementos passaram a representar um conjunto de átomos semelhantes quimicamente, mas que se decompõem fisicamente de diferentes formas (Bernal, 1969).

A partir do conhecimento mais aprofundado das propriedades da matéria, a tabela periódica sofreu novas alterações em sua estrutura, algumas delas diretamente relacionadas com o decaimento radioativo e com a produção de elementos químicos sintéticos usando a fusão nuclear (Leite; Porto, 2015). A produção desses novos elementos químicos se deu em um período de descobertas relacionadas à estrutura

atômica e às propriedades físicas e químicas dos elementos químicos (Leite, 2019; Leite; Porto, 2015). Os conceitos de moléculas, valência ou atomicidade dos íons, as relações periódicas dos elementos e as noções de estrutura e partículas elementares só puderam se constituir com base na concepção de átomo, uma vez que são derivadas e se desenvolveram a partir dela (Kedrov, 1949).

Diante do exposto, percebemos que nesse período histórico, na transição do século XIX para o XX, um embate secular, quase milenar, foi acirrado: da existência real ou não dos átomos, da sua materialidade. Em suma, os conhecimentos do entendimento humano sobre a matéria provêm da própria matéria (Cheptulin, 1982), tendo suas produções historicamente guiadas por questionamentos filosóficos sobre a existência da realidade que resultaram em experimentos sempre voltados para aspectos quantitativos.

Considerações finais e implicações para o Ensino de Química

Buscamos na história implicações filosóficas para entendermos o papel da materialidade no desenvolvimento do conhecimento químico nos séculos XIX e XX. Concluímos que os conhecimentos revelam a materialidade como uma propriedade intrínseca ao conhecimento científico na medida em que toma a matéria em movimento como seu objeto de estudo (investigando as interconexões entre os movimentos dos diferentes tipos de matéria, suas relações causais e suas condições de existência para poder reproduzi-las) e que assume que a existência primária da matéria tem primazia sobre a consciência humana. Identificamos que a materialidade foi um dos principais aspectos que sobressaíram nas discussões científicas, especialmente na Física e na Química, para o avanço do conhecimento sobre a matéria. Portanto, a materialidade é um aspecto importante a ser considerado nos estudos sobre a História da Ciência, especialmente na da Química.

Essa constatação reitera a importância dos estudos filosóficos para melhor entendermos a própria Química e pensarmos sobre seu currículo e seu ensino (Lemes; Porto, 2013). Fundamentados em nosso entendimento da ciência como algo aproximativo, neste artigo engendramos um esforço de síntese de múltiplas determinações que não se esgota neste texto, nem garante que fomos capazes de captar

todas as determinações envolvidas nos complexos fenômenos sintetizados. A reunião dos diferentes episódios apontou para a materialidade e a existência dos átomos, mas reconhecemos que esse debate não está encerrado na Química ou na Filosofia da Química (Labarca; Bejarano; Eichler, 2013; Lemes; Porto, 2013). Apesar disso, entendemos que a categoria da materialidade merece mais estudos filosóficos e aponta para importantes implicações para o ensino de Química.

Pautados na Pedagogia Histórico-Crítica e visando desenvolver uma concepção de mundo materialista, histórica e dialética ao ensinar Química, assim como qualquer outro conhecimento científico, filosófico ou artístico, entendemos que uma compreensão material sobre o átomo sustenta seu ensino. Dessa forma, ainda que as controvérsias devam ser ressaltadas em sala de aula, o caminho histórico percorrido pela humanidade e as sínteses produzidas pelos cientistas no decorrer do tempo, algumas reunidas neste artigo, apontam para esse aspecto importante do átomo que deveria ser abordado no ensino. No que diz respeito às relações entre Filosofia da Química e currículo, sugeridas por autores como Eric Scerri, Martin J. Goedhart e Vicente Talanquer, citados por Lemes e Porto (2013), entendemos que a Filosofia pode contribuir para revelar os aspectos essenciais da Química que justificam sua presença na escola e que auxiliam na sua organização curricular, a exemplo do tema central do presente texto, a materialidade. Outras propostas de ensino, como a de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), já apontavam para a possibilidade de dividir o ensino da Química articulando os modelos atômicos aos fenômenos que eles explicam, sem necessariamente abordá-los em conjunto. Entendemos que esse é um caminho fértil, de forma que pretendemos, com a Pedagogia Histórico-Crítica, encontrar os aspectos essenciais do conteúdo químico e, nesse movimento, a materialidade se mostrou como um ponto importante a ser considerado. Claro que tanto esse desenvolvimento, quanto nossos estudos históricos e filosóficos, aqui parcialmente apresentados, necessitam de maior aprofundamento visando contribuir tanto para a Filosofia da Química como para um ensino de Química histórico-crítico.

Referências

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *O que é história da ciência*. 1a ed. São Paulo: Brasiliense, 1994.
BAILY, C. Early atomic models – from mechanical to quantum (1904–1913). *The*

European Physical Journal H, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 1-38, 24 out. 2012.

BENSAUDE-VINCENT, B.; STENGERS, I. *História da química*. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

BERNAL, John Desmond. *Ciência na História*. Livros Horizonte, v. 4, p. 695-879, 1969.

BERNARDO, F. A. *O conteúdo de modelos atômicos e a concepção de mundo: contribuições filosóficas para o ensino de química histórico-crítico*. 2023. 101 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2023.

CESAREO, Roberto. *Dos raios X à bomba atômica (1895-1945): os 50 anos que mudaram o mundo*. Brasília: Embrapa, 543 p. 2010.

CHAGAS, A. P. Existem átomos? (abordando Jean Perrin). *História da Ciência e Ensino*, [s. l.], v. 3. p. 7-16. 2011. Disponível em:
<https://revistas.pucsp.br/hcensino/article/view/5605#:~:text=Inicialmente%20destacam%2Dse%20alguns%20pontos,evid%C3%AAs%20sobre%20a%20realidade%20molecular>. Acesso em: 10 jul.2022.

CHAGAS, A. P. Os noventa anos de Les Atomes. *Química Nova na Escola*, São Paulo, Coleção Ano Internacional da Química, n. 17, mai. 2003. Disponível em:
<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a09.pdf>. Acesso em: 10 jul.2022.

CHEPTULIN, A. *A dialética materialista: categorias e leis da dialética*. São Paulo: Editora Alfa-Omega, 1982.

CROSSFIELD, E. Tina. Irène Joliot-Curie: Following in Her Mother's Footsteps. In: RAYNER-CANHAM, Marelene F.; RAYNER-CANHAM, Geoffrey. W. *A Devotion to their Science: Pioneer Women of Radioactivity*. Québec: Chemical Heritage Foundation, 2005.

DUARTE, N.; MASSI, L.; TEIXEIRA, L. A. The Committed Objectivity of Science and the Importance of Scientific Knowledge in Ethical and Political Education. *Science & Education*, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1629-1649, 30 nov. 2021.

GILMER Penny Jane. Irène Joliot-Curie, a Nobel Laureate in Artificial Radioactivity. In: CHIU, Mei-Hung.; GILMER, Penny. Jane.; TREAGUST, David. *Celebrating the 100th Anniversary of Madame Marie Skolodowska Curie's Nobel Prize in Chemistry*. Sense Publishers, 2011.

GOMES, L. B. M. *O ensino de Química e a tabela periódica: contribuições para uma Filosofia da Química Materialista, Histórica e Dialética*. 2023. 89 p. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2023.

GUTIÉRREZ SAMANEZ, J. A. Binódic periodic system: a mathematical approach. *Foundations of Chemistry*, v. 22, p. 235-266, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s10698-020-09359-3>

HOFFMANN, R. What might philosophy of science look like if chemists built it? *Synthese*, v.155, n. 3, p. 321-336, 2007.

-
- IMYANITOV, N. S. Dialectics and synergetics in chemistry. Periodic Table and oscillating reactions. *Foundations of Chemistry*, v. 18, n. 1, p. 21-56, 2015.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10698-015-9248-6>
- JOLIOT-CURIE, I. *Nobel Lecture: Artificial Production of Radioactive Elements*. Nobel Prize, 1935, Amsterdam.
- KEDROV, B. M. Dalton's Atomic Theory and Its Philosophical Significance. *Philosophy And Phenomenological Research*, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 644, jun. 1949. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2103296>. Acesso em: 06 ago. 2023.
- LABARCA, M.; BEJARANO, N. R. R.; EICHLER, M. L. Química e Filosofia: rumo a uma frutífera colaboração. *Química Nova*, v. 36, n. 8, p. 1-17, 2013.
- 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.
- 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. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150064>
- LEMES, A. F. G.; PORTO, P. A. Introdução à Filosofia da Química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o Ensino de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 3, p. 121-147, 2013.
- LIMA, L. C. *Trajetória pessoal e científica de Irène Joliot-Curie e sua inserção na educação química histórico-crítica*. Orientadora: Luciana Massi. 2024. 112 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2024.
- MARTINS, L. M.; LAVOURA, T. N. Materialismo histórico-dialético: contributos para a investigação em educação. *Educar em Revista*, [S.L.], v. 34, n. 71, p. 223-239, out. 2018.
- MASSI, L.; SOUZA, B. N.; SGARBOSA, E. C.; COLTURATO, A. R. Incorporação da Pedagogia Histórico-Crítica na educação em ciências: uma análise crítica dialética de uma revisão bibliográfica sistemática. *Investigações em Ensino de Ciências*, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 212, 28 ago. 2019.
- MELZER, E. E. M.; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, [S.L.], v. 11, n. 22, p. 62, 30 jun. 2015.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. *Química Nova*, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 273-283, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QZSvNkKHJHG3Wk6XsSd7Phb/?format=pdf>. Acesso em: 30 mai. 2024.
- NYE, M. J. The nineteenth-century atomic debates and the dilemma of an 'indifferent hypothesis'. *Studies In History And Philosophy Of Science Part A*, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 245-268, 1976. Disponível em:
-

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0039368176900078>.
Acesso em: 06 ago. 2023.

ROMERO, A. L.; CUNHA, M. B. da. A pré-história da lei periódica dos elementos químicos na perspectiva de dois historiadores da Química. *Revista Valore*, v. 6, p. 1-13, jul. 2021.

ROSA, J. M. *A apropriação dos princípios fundamentais da teoria da evolução e os alcances abstrativos da concepção de mundo*. 2018. 256 f. Tese (Doutorado em Educação Escolar) – Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, Araraquara-SP, 2018. Disponível em: http://www.fclar.unesp.br/agenda-pos/educacao_escolar/4737.pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

TARGINO, A. R. L.; BALDINATO, J. O. Abordagem histórica da lei periódica nas coleções do PNLD 2012. *Química Nova na Escola*, v. 38, n. 4, p. 324-333, 2016.
<https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160044>

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

VALERO, R. et al. Análise marxista de elementos da concepção de ciência nos principais filósofos abordados na Educação em Ciências: aspectos ontológicos e epistemológicos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 828-858, 15 dez. 2022. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/86571>. Acesso em: 31 ago. 2024.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. O processo de elaboração da teoria atômica de John Dalton. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 7, p. 4-12, dez. 2007. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/cadernos/07/a03.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2022.

VIDAL, B. *História da química*. Lisboa: Edições 70, 1986.

VIHALEMM, R. The autonomy of chemistry: old and new problems. *Foundations of chemistry*, v. 13, n. 2, p. 97-107, 2011.

Submetido em: 02/06/2024

Aceito em: 19/09/2024

Publicado em: 20/12/2024

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ

Sociedade **B**rasileira
de **E**nsino de **Q**uímica



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.