unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Ciências
Campus de Bauru - SP

FERNANDA APARECIDA BERNARDO

O CONTEÚDO DE MODELOS ATÔMICOS E A CONCEPÇÃO DE MUNDO:

Contribuições filosóficas para o ensino de química histórico-crítico



BAURU – S.P.
2023

FERNANDA APARECIDA BERNARDO

CONTEÚDO DE MODELOS ATÔMICOS E A CONCEPÇÃO DE MUNDO:

Contribuições filosóficas para o ensino de química histórico-crítico

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista - UNESP, campus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência.

Orientadora: Luciana Massi

Bolsa: CAPES

BAURU – S.P.
2023

B523c

Bernardo, Fernanda Aparecida
O conteúdo de modelos atômicos e a concepção de mundo : contribuições filosóficas para o ensino de química histórico-crítico / Fernanda Aparecida Bernardo. -- Bauru, 2023
102 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru
Orientadora: Luciana Massi

1. Educação em química. 2. Filosofia da química. 3. História da química. 4. Modelos atômicos. 5. Pedagogia Histórico-Crítica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

FERNANDA APARECIDA BERNARDO

CONTEÚDO DE MODELOS ATÔMICOS E A CONCEPÇÃO DE MUNDO: Contribuições filosóficas para o ensino de química histórico-crítico

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista - UNESP, campus de Bauru, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência.

Orientadora: Luciana Massi

Bolsa: CAPES

Data da defesa: 15 de setembro de 2023

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientadora: Professora Doutora Luciana Massi
Departamento de Educação, Faculdade de Ciências e Letras, UNESP, Araraquara.

Membro Titular: Professor Doutor Ronei Clécio Mocellin
Departamento de Filosofia, UFPR, Curitiba.

Membro Titular: Professor Doutor Lucas André Teixeira
Departamento de Educação, Faculdade de Ciências e Letras, UNESP, Araraquara.

Local: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras, campus Araraquara (banca remota)

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FERNANDA APARECIDA BERNARDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 15 dias do mês de setembro do ano de 2023, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de FERNANDA APARECIDA BERNARDO, intitulada **Conteúdo de modelos atômicos e a concepção de mundo: contribuições filosóficas para o Ensino de Química histórico-crítico**. A Comissão Examinadora foi constituida pelos seguintes membros: Profa. Assoc. LUCIANA MASSI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências e Letras - Unesp Araraquara, Prof. Dr. RONEI CLÉCIO MOCELLIN (Participação Virtual) do(a) Departamento de Filosofia / Universidade Federal do Paraná, Prof. Dr. LUCAS ANDRÉ TEIXEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências e Letras - Unesp Araraquara. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final:_ _ _ **aprovada** _ _ _ _ . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Assoc. LUCIANA MASSI

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao apoio das agências de fomento (à FAPESP, ao CNPq e, especialmente, à CAPES, que subsidiou esta pesquisa) que desde a graduação tem possibilitado o desenvolvimento da minha formação em ensino e em pesquisa, por meio das bolsas que me possibilitaram custear: o transporte para a UNESP, a alimentação, a moradia, a participação de eventos e de projetos de extensão, os estágios, a saúde, o atendimento psicológico e odontológico, e não menos importante, mas tão necessário quanto, alguns momentos de lazer e socialização.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência por ter aceito e confiado na proposta que se sucedeu nesta dissertação, além dos diversos apoios administrativos (no atendimento rápido das demandas burocráticas - Dã e Julia são responsáveis por isso) e institucionais (fornecimento das disciplinas e espaços de socialização para as pesquisas, como a Reunião Técnica).

À minha orientadora, Luciana, por ser essencial na minha formação enquanto pesquisadora e professora, um exemplo de profissional no que diz respeito ao comprometimento na pesquisa e nas disciplinas, à apropriação das formas e conteúdos dos objetos de estudo, à ética, à seriedade com a educação e à dose de rebeldia necessária para formar professores e pesquisadores que questionam o que está posto em busca de transformação.

Aos professores membros da banca examinadora, Lucas e Ronei, por terem aceito avaliar esta pesquisa e ter dado contribuições relevantes no exame de qualificação, das quais possibilitaram que ampliasse as discussões relacionadas à filosofia, à história e ao ensino para a finalização deste trabalho.

Ao grupo de pesquisa que tive a honra de compartilhar com pessoas tão responsáveis, comprometidas, ativas e “gente boa” - daquelas que o coração é enorme, disposto a ajudar qualquer pessoa que necessite, seja do seu conhecimento ou do seu ombro. Compõem este grupo e agradeço individualmente a cada um por seu apoio: Andriel Colturato, Bruno Lima, Carlos Moris, Carlos Sérgio, Gabriela Agostini, Giovana Valero, Larissa Lima, Lucas Bombarda, Lucas Nakamura, Rafaela Valero e Thiago Lima.

Aos meus familiares pelo incentivo e apoio aos meus estudos, seja pessoal, emocional e/ou financeiro, sem eles, provavelmente não teria conseguido fazer tudo o que fiz. Rogério, meu irmão mais velho, responsável pelo incentivo intransigente aos estudos, sem a sua insistência não teria nem sequer feito faculdade. Paulo, meu irmão do meio, responsável por me ensinar que as trajetórias e as opiniões podem ser distintas, mas o caráter se mantém. João, meu pai, responsável por não ter medido esforços para dar condições materiais para minha existência e do seu jeito peculiar, demonstrar afeto por meio das ações. Em especial, agradeço a minha mãe,

Rosa, que disponibilizou tempo de sua vida com seu trabalho invisibilizado - o trabalho doméstico -, para que eu pudesse estudar, além de todo amor, carinho, conselhos e acolhimento quando mais precisei. Sem dúvidas, sem o ombro de minha mãe, esse caminho teria sido muito mais difícil.

Ao psicólogo Ricardo por ter sido um guia quando achei que não era capaz de fazer o mestrado e ter mostrado diferentes perspectivas para minhas angústias. Foi fundamental para me trazer clareza quando tudo era turvo. Me deu alento pessoal e profissional em meio ao caos pandêmico e do desgoverno facista e genocida que atravessou essa pesquisa, praticamente, do começo ao fim.

Por último e não menos importante, aos meus amigos que caminharam comigo esta trajetória, em distintos momentos da minha formação: Beatriz, Bruno, Francine, Giovana, Isabela, Karen, Larissa, Leandro, Lucas, Maria Julia, Patrícia, Rafaela e Thiago. Vocês foram essenciais para me fazer acreditar nas escolhas que fiz, me dar segurança e confiança no meu trabalho; me deram o tempo precioso de suas vidas pra me divertir, me fazer sorrir e me sentir forte quando as dificuldades apertavam e eu não tinha mais forças pra caminhar; me deram palavras, conselhos e abraços que foram um alento, um sopro de vida.

Em especial, agradeço ao Lucas e à Beatriz, meus amigos confidenciais: o Lucas, por ser minha dupla desde a graduação e também no mestrado, nos fortalecendo quando pensamos em desistir; por sua bondade infinita, não medir esforços para ajudar quem quer que seja e estar quase sempre disponível pra fazer companhia; por ser minha carona favorita, o parceiro das viagens e rolês mais insanos que já fiz; meu parceiro verde; a Beatriz por ouvir minhas lamúrias, receber meus textos e poemas, compartilhar as brisas nerds, conseguir atravessar a casca que me cerca e possibilitar que eu mostre quem realmente sou, dona das melhores comidas que já apreciei, além de ser apoio nos momentos mais difíceis. Eu amo vocês.

O guardador de rebanhos

Canto XXXIX - O mistério das cousas

O mistério das cousas, onde está ele?
Onde está ele que não aparece
Pelo menos a mostrar-nos que é mistério?
Que sabe o rio disso e que sabe a árvore?
E eu, que não sou mais do que eles, que sei disso?
Sempre que olho para as cousas e penso no que os homens pensam delas
Rio como um regato que soa fresco numa pedra.

Porque o único sentido oculto das cousas
É elas não terem sentido oculto nenhum,
É mais estranho do que todas as estranhezas
E do que os sonhos de todos os poetas
E os pensamentos de todos os filósofos,
Que as cousas sejam realmente o que parecem ser
E não haja nada que compreender.

Sim, eis o que os meus sentidos aprenderam sozinhos: -
As cousas não têm significação: têm existência.
As cousas são o único sentido oculto das cousas.
(Fernando Pessoa, 1989, p. 114-115)

RESUMO

Os modelos atômicos são centrais para a química e o ensino de química (EQ), inserido nas orientações curriculares oficiais, nas discussões do EQ e da filosofia da química (FQ). São relatadas pelas pesquisas uma descrença na existência dos átomos e do vazio pelos estudantes e distorções das bases filosóficas da química ao ser tratada como uma ciência dogmática no EQ. Na tentativa de avançar no aprofundamento filosófico no EQ, e alinhando-se à Pedagogia Histórico-Crítica, teoria pedagógica que busca constituir uma didática histórico-crítica pautada na lógica dialética, esta pesquisa conceitual de natureza bibliográfica tem o objetivo de identificar possíveis aproximações ou distanciamentos entre os aspectos filosóficos dos modelos atômicos e o materialismo dialético a partir da materialidade do átomo, apontando implicações para o EQ histórico-crítico. Para compor a justificativa da pesquisa e localizá-la dentre as temáticas da FQ, foi feito um levantamento bibliográfico, não sistemático, de artigos que tratavam sobre as principais questões debatidas na área. Em seguida, foi constituído o acervo de análise por meio de uma revisão bibliográfica sistemática que resultou em 15 artigos com enfoque nos modelos atômicos ou na teoria atômica, em inglês, português e espanhol, em revistas e compilados de referências bibliográficas da filosofia da química e bancos de dados nacionais e internacionais. Concluímos que é possível identificar o embate entre algumas tendências idealistas ou materialistas a respeito da materialidade dos átomos, sendo elas instrumentalistas, pragmáticas ou realistas. Cada uma delas está relacionada a uma base filosófica distinta, respectivamente: idealismo subjetivo, idealismo objetivo e materialismo. Podemos dizer que conceber a estrutura da matéria como atomizada e que esses átomos existem materialmente implica filosoficamente: a realidade existir independente do ser humano; a possibilidade de transformação; a conexão mútua e interdependente entre os objetos da realidade; existir uma contradição entre aparência e essência na realidade. É necessário que o estudante desenvolva uma intuição histórica que desmistifique a imutabilidade do mundo e da sociedade, vislumbrando possibilidades de transformação da realidade, ou seja, se aproprie da ideia de necessidade humana ao evidenciar o que tava posto quando o conceito surgiu e os debates da época. A diversidade qualitativa dos átomos, a transmutação dos elementos químicos junto com a teoria da evolução, por exemplo, se opõem à metafísica, à imutabilidade da matéria e da natureza, e demonstram a indissolubilidade entre matéria e movimento. O modelo particulado de matéria deu maior domínio à humanidade dos processos naturais e químicos a ponto de possibilitar a transformação material, seja superando a barreira da síntese de compostos orgânicos por vias inorgânicas ou pela transmutação dos elementos químicos pela radioatividade. A compreensão atômica da matéria nos possibilita conceber o mundo de maneira materialista, histórica e dialética, permitindo a transformação da realidade pelo próprio ser humano. Esses são aspectos importantes para a constituição da dimensão filosófico-científica da concepção de mundo a partir dos modelos atômicos.

Palavras – chave: Pedagogia Histórico-Crítica; Modelos atômicos; Materialidade.

ABSTRACT

Atomic models are central to chemistry and chemistry teaching (CT), embedded in official curriculum guidelines, discussions of CT and philosophy of chemistry (PC). It is reported by the surveys a disbelief in the existence of atoms and the void by students and distortions of the philosophical bases of chemistry when treated as a dogmatic science in the CT. In an attempt to advance in the philosophical deepening of CT, and aligning itself with Historical-Critical Pedagogy, a pedagogical theory that seeks to constitute a historical-critical didactics based on dialectical logic, this conceptual research of a bibliographic nature aims to identify possible approximations or distances between the philosophical aspects of atomic models and dialectical materialism from the materiality of the atom, pointing out implications for the historical-critical CT. In order to compose the justification for the research and locate it among the themes of the PC, a non-systematic bibliographical survey of articles that dealt with the main issues debated in the area was carried out. Then, the collection of analysis was constituted through a systematic bibliographical review that resulted in 15 articles focusing on atomic models or atomic theory, in English, Portuguese and Spanish, in magazines and compilations of bibliographical references of the philosophy of chemistry and national and international databases. We conclude that it is possible to identify the clash between some idealist or materialist trends regarding the materiality of atoms, whether instrumentalist, pragmatic or realistic. Each of them is related to a different philosophical base, respectively: subjective idealism, objective idealism and materialism. We can say that conceiving the structure of matter as atomized and that these atoms materially exist implies philosophically: reality exists independently of the human being; the possibility of transformation; the mutual and interdependent connection between the objects of reality; there is a contradiction between appearance and essence in reality. It is necessary for the student to develop a historical intuition that demystifies the immutability of the world and society, envisioning possibilities for transforming reality, that is, to appropriate the idea of human need by highlighting what was in place when the concept emerged and the debates of the era. The qualitative diversity of atoms, the transmutation of chemical elements together with the theory of evolution, for example, opposes metaphysics, the immutability of matter and nature, and demonstrates the indissolubility between matter and movement. The particulate model of matter gave humanity greater control over natural and chemical processes to the point of enabling the transformation of material, whether overcoming the barrier of organic properties through inorganic means or through the transmutation of chemical elements through radioactivity. The atomic understanding of matter allows us to conceive the world in a materialistic, historical and dialectical way, allowing the transformation of reality by human beings themselves. Important aspects for the constitution of the philosophical-scientific dimension of the conception of the world based on atomic models.

Keywords: Historical-Critical Pedagogy; Atomic models; Materiality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 6
2. UMA ABORDAGEM MATERIALISTA E DIALÉTICA DO PROBLEMA..... 16
3. REFERENCIAL TEÓRICO: A MATERIALIDADE PARA O MATERIALISMO HISTÓRICO-DIALÉTICO..... 18
4. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DOS MODELOS ATÔMICOS.....24
4.1. As especulações filosóficas sobre a matéria na Antiguidade e a divisão social do trabalho..... 24
4.2. A transição para o capitalismo e a retomada das teorias atômicas.....26
4.3. A ascensão do capitalismo e a consolidação da química moderna no século XIX: o embate entre a continuidade e descontinuidade da matéria em destaque..... 31
4.4. As descobertas de partículas subatômicas e a decadência burguesa: comprovação ou falsidade da teoria atômica?..... 35
5. PRINCIPAIS DISCUSSÕES DA FILOSOFIA DA QUÍMICA..... 40
5.1. A relação entre filosofia e química..... 40
5.2. A consolidação da filosofia da química enquanto área de pesquisa.....42
5.3. As questões mais debatidas pela área atualmente.....44
5.4. Os átomos e a filosofia da química..... 47
5.4.1. Descrição dos trabalhos históricos e filosóficos sobre modelos atômicos 50
6. ASPECTOS FILOSÓFICOS DA MATERIALIDADE DOS ÁTOMOS..... 55
6.1. Análise materialista histórico-dialética da materialidade dos átomos na filosofia da química..... 55
6.2. Contribuições do materialismo dialético sobre a materialidade dos átomos. 67
7. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA HISTÓRICO-CRÍTICO DE MODELOS ATÔMICOS..... 73
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....88

1. INTRODUÇÃO

O modelo atômico é central para a química e o ensino de química, inserido nas orientações curriculares oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (EM) (2002) e o Currículo do Estado de São Paulo (2011). Ambos os currículos tratavam os modelos atômicos como parte dos tópicos de constituição da matéria nos primeiros bimestres do 1º ano (Modelo de Dalton) e 2º ano (Rutherford-Bohr) do componente curricular de química e defendiam que se tornava fundamental mostrar as transformações das ideias sobre a constituição da matéria por meio da história, promovendo o desenvolvimento de algumas competências, como: “reconhecer a necessidade e os limites de modelos explicativos relativos à natureza dos materiais e suas transformações; reconhecer e compreender a Química como resultado de uma construção humana, inserida na história e na sociedade” (Brasil, 2002, p. 93). Também eram citados os modelos atômicos de Rutherford e Bohr no componente curricular de Física do 3º ano do EM.

Tal como evidenciado por Marsiglia *et al* (2017), Cássio (2018) e Catini (2020) há um esvaziamento curricular na atual Base Nacional Comum Curricular (BNCC), aprovada em 2017 e finalizada em 2018 com a versão completa para o EM. Os professores e a comunidade científica não participaram das reformulações feitas na BNCC e os movimentos sociais (o Movimento Nacional em Defesa do Ensino médio e dos secundaristas, por exemplo), inclusive, sofreram com o silenciamento do governo Temer, que aprovou como medida provisória o projeto de lei da reforma do EM (Kuenzer, 2019).

De acordo com Kuenzer (2019), o currículo teve uma flexibilização que reduziu a carga horária da maioria das disciplinas em detrimento do aumento da carga horária de língua portuguesa e matemática: Cássio (2018) e Catini (2020) apontam que o problema da BNCC está justamente no esvaziamento curricular. Os conteúdos são excluídos para serem substituídos, por exemplo, no currículo paulista, por habilidades socioemocionais, que adestram os trabalhadores para a amabilidade, a resiliência emocional e a autogestão (Catini, 2020). A pedagogia das competências, que fundamenta a BNCC, de modo que as habilidades e competências são norteadoras da formação dos estudantes, ausentando os conteúdos artísticos, filosóficos e científicos (Marsiglia *et al*, 2017).

A BNCC impõe a lógica empresarial e privatista do mercado às escolas públicas, representantes do capital, como discutido por Lavoura (2021). Cassio

(2018) e Catini (2020) também apontam os interesses empresariais na defesa da reforma do ensino médio e implementação da BNCC, pois possibilita as parcerias público-privadas para as avaliações de larga escala, os materiais didáticos e cursos de formação de professores. Algumas instituições tiveram papel preponderante nessa defesa: o Instituto Ayrton Senna, Itaú Social, Fundação Dpaschoal são algumas das entidades que compõem a organização não governamental “Todos Pela Educação”, criada em 2006, comandadas por empresários, têm apresentado influências diretas nas decisões das políticas educacionais do país, com o objetivo de privatizar a educação ao aproximar as empresas das escolas, de modo que a educação se torne uma mercadoria (Catini, 2020).

Em comparação com as orientações curriculares anteriores, na BNCC para o EM, os modelos atômicos não são citados, é feita apenas uma única citação à estrutura da matéria como estudo a ser mobilizado para atingir a Competência Específica I da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, da unidade temática “Matéria e Energia”:

> analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global (Brasil, 2017, p. 554)

Em consonância com a BNCC, no Currículo Paulista (2020) - formulado para a Reforma do Ensino Médio (aprovada em 2017 e em vigor desde 2022) -, para atingir essa mesma competência específica, os modelos atômicos são citados apenas no 1º ano do EM como objeto de conhecimento da Química e da Física, respectivamente, nos tópicos de constituição da matéria (modelo de Dalton junto com o estudo de elementos, símbolos, massa atômica e número atômico) e de quantização de energia (modelo de Bohr). Ainda no 1º ano do EM, em Química, há um tópico sobre a evolução dos modelos atômicos para atingir a Competência Específica II da área de Ciência da Natureza e suas Tecnologias, da unidade temática “Vida, Terra e Cosmos”:

> Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis (Brasil, 2020, p. 157)

É necessário esclarecer que as orientações curriculares oficiais podem ser tomadas como referência para dar indícios da importância dos modelos atômicos

para a Química e o ensino de química, o que não significa concordar com essas orientações que são pautadas em ideais neoliberais e, portanto, incoerentes com os fundamentos teórico-metodológicos da Pedagogia Histórico-Crítica (Marsiglia *et al,* 2017). No entanto, ainda que tenham sofrido uma redução curricular significativa, há uma relevância do modelo atômico para a Química e o ensino de química por ter sido selecionado por essas propostas curriculares oficiais, que não defendem a importância dos conteúdos na escola pública, como discutimos anteriormente.

De acordo com Mortimer (1988), os livros didáticos permaneceram até a década de 1930 com uma abordagem clássica da teoria atômica. A maior parte dos livros discutem sobre a divisibilidade dos átomos para a Química e a transmutação dos elementos, proporcionada pela física (Mortimer, 1988). As substâncias simples eram definidas em termos da impossibilidade de decomposição pelos químicos, o que se modificou a partir de 1940, com a definição de substância simples em termos atômicos, que representou uma valorização dos conceitos atomísticos no ensino de química que permanecem até hoje (Mortimer, 1988).

Também foram inseridas as unidades da estrutura atômica, incluindo temas como o átomo nuclear e quantizado de Rutherford-Bohr e as implicações para a teoria eletrônica de valência (Mortimer, 1988). Posteriormente, na década de 50, foi inserido o modelo atômico da mecânica ondulatória, alterando a descrição do elétron em termos probabilísticos (Mortimer, 1988). A maioria dos livros didáticos à época da publicação de Mortimer (1988) se concentravam na determinação dos números quânticos do elétron e nos macetes de distribuição eletrônica em níveis e subníveis de energia. De acordo com Mortimer (1988), as simplificações feitas pelos livros didáticos à estrutura atômica acabam por descaracterizar seu conteúdo.

Santos (2020) mostra que a inserção dos modelos atômicos nos livros didáticos começou a aparecer no período de 1930-1947, em que o autor verifica o estabelecimento da perspectiva atômico-molecular resistindo a todas as organizações de conteúdos nos livros didáticos. Também foi incorporado o modelo atômico atual entre 1965-1980 (Santos, 2020). Os modelos atômicos aparecem tanto no nível molecular como elétrico, evidenciando uma forte inserção da compreensão da matéria que é constituída por elétrons, prótons e nêutrons. Os modelos atômicos é um dos conteúdos que resistiu às reformulações dos livros didáticos, como discutido por Santos (2020), se tornando um indicativo de conteúdo clássico da Química, que apresenta potencial para a liberdade do ser humano com a

possibilidade da apropriação das necessidades históricas, da prática social como critério para seleção desse conteúdo, como pretendemos demonstrar ao longo nesta dissertação.

Além da relevância apresentada nos currículos de Química da educação básica e nos livros didáticos, os modelos atômicos também são objeto de estudo na área de pesquisa em ensino de ciências e de Química (Mortimer, 1995; Melo, 2002; Chaves; Santos; Carneiro, 2014), que apontam como os modelos costumam ser ensinados, as dificuldades dos estudantes em aprender esse conteúdo, as concepções alternativas e a importância para a história da Química.

Melo (2002) escreveu um texto para professores ressaltando o conceito, a importância e os principais cuidados na apresentação dos modelos atômicos e identificando os principais problemas encontrados nos livros didáticos. A autora mostra que há uma inadequação na abordagem do desenvolvimento histórico sobre esse tema, pois não se “esgota um modelo para se chegar a um mais evoluído”, não ficando clara as limitações dos modelos, tanto no momento de decidir com qual modelo trabalhar quanto no momento em que as necessidades exigem a elaboração de um “modelo mais aprimorado” (Melo, 2002, p. 11-13).

O artigo de Chaves, Santos e Carneiro (2014) analisa as concepções de ciências nos conteúdos históricos dos modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford-Bohr em livros didáticos. Os autores complementam o trabalho de Melo (2002), pois a abordagem histórica dos modelos atômicos nos livros didáticos “tendem a produzir uma concepção de ciência desenvolvida por cientistas ilustres que trabalham de forma isolada, cujas teorias científicas são elaboradas linear e cumulativamente ao longo da história” (Chaves; Santos; Carneiro, 2014, p. 278).

Também é trazido por Melo (2002, p. 13) o fato dos alunos não aceitarem o vazio, implicando em uma “não aceitação do modelo particulado da matéria”, pois quando pensam, por exemplo, sobre o corpo humano eles têm dificuldades em aceitar que é feito de átomos, já que “aos seus ‘olhos’, o corpo é contínuo e não particulado”. Essa constatação já havia sido apontada por Mortimer (1995, p. 25): “a ideia de que ‘a natureza abomina o vazio’ é uma característica presente em explicações dos estudantes para diferentes fenômenos”.

Mortimer (1995, p. 26) defende que a superação desses obstáculos, da dificuldade de aceitação do atomismo e da descrença no vazio, não vai ocorrer pelas evidências empíricas, mas em “argumentos racionais e no uso de exemplos da

história das ciências". Para ele, a história das ciências traz indícios das concepções que esses cientistas tinham em determinada época e que, até hoje, são propagadas inconscientemente pelo senso comum, fazendo um paralelo com as concepções alternativas, pois os modelos que os alunos "propõem se assemelham a modelos históricos que foram superados por um mais simples e racional" (Mortimer, 1995, p. 26).

Ao discutir os modelos, Melo (2002, p. 37) destaca que são a base para toda Química e "o mais importante é o modelo atômico, pois a partir deste, temos os modelos moleculares, os modelos de reações, apoiados em modelos matemáticos, ou seja, temos diversos modelos científicos". A autora ressalta também que a concepção de modelo do aluno difere da concepção de modelo científico, pois para o aluno o "modelo é uma réplica daquilo que ele conhece" e o modelo científico, no caso dos modelos atômicos, "deve ser capaz de justificar e também de prever o comportamento da matéria". Para Melo (2002, p. 124), há "dificuldades de se encontrar formas convenientes de se abordar" a estrutura da matéria "sem perder conteúdo e sem tornar o aprendizado difícil e desmotivante".

Algumas pesquisas apresentadas por Melo (2002, p. 6) e realizadas com alunos do EM levantaram questões sobre os modelos atômicos:

> Como as pessoas sabem que o átomo existe se elas não podem vê-lo ou senti-lo? Como o átomo foi descoberto? Sendo os átomos tão pequenos, como foi possível para os físicos descobri-los e estudá-los? [...] Qual a razão para tanta variedade de modelos atômicos? Por quê a noção de átomo foi mudada recentemente?

Nós, professores de Química, estamos preparados para responder a essas questões? É notável que as dúvidas dos estudantes são de natureza tanto científica quanto filosófica, semelhantes às feitas por mim enquanto lecionava minhas primeiras aulas de Química. É evidente que para a grande parte da área de ensino de química, a abordagem dos modelos atômicos tem que ser histórica, com uma defesa maior do campo da história da ciência (Melo, 2002; Mortimer, 1995; Chaves; Santos; Carneiro, 2014). A construção e desenvolvimento histórico de um conteúdo científico são necessárias para promover um ensino crítico com base na História e Filosofia da Ciência (HFC), como abordado por Matthews (2015) e Prado (2016). A HFC, interdisciplinar, é defendida no ensino de ciências, pois a ciência é humanizada e sua neutralidade é desmistificada ao aproximar os interesses da

época, sejam eles, pessoais, culturais, éticos e políticos, desvelando a influência do contexto histórico na ciência e desfazendo uma visão dogmática da ciência.

É necessário que se estude tanto a história quanto a filosofia da própria ciência, neste caso, da filosofia da química, pois nos ajuda a pensar nas redes conceituais atreladas ao objeto de estudo (Messeder Neto; Teixeira; Colturato, 2022). A História da Ciência para a Pedagogia Histórico-Crítica não tem um caráter metodológico, mas possui a função de mostrar que os conteúdos são produzidos de acordo com as necessidades e possibilidades históricas, descobertos a partir das condições de cada época, sendo a história parte inerente da produção, mas não como uma contextualização (Messeder Neto, 2022).

Desde a década de 1990 uma área se dedica a produzir debates e estudos na filosofia da química, construída a partir da preocupação de “químicos, historiadores, filósofos e educadores em química” com a imagem pública da química, dando “início a um processo de interações, troca de ideias e discussões a respeito da natureza e do papel da química no mundo moderno” (Lemes; Porto, 2013, p. 122).

O artigo de Lemes e Porto (2013) revisa as questões mais discutidas na área da filosofia da química e discute a importância para o ensino de química. Os autores discutem sobre a centralidade da química, os modelos, as representações e a linguagem química, a manipulação de entidades teóricas ou de substâncias químicas, a defesa de que o químico deve ser realista ou não, e se a química é redutível à física (Lemes; Porto, 2013). Alguns filósofos apontam os modelos como a especificidade da química, com ênfase na modelagem no pensamento químico, na relação entre o micro e o macro, como representações do sistema real (perspectiva instrumentalista) ou como substitutos do sistema real (perspectiva realista) (Lemes; Porto, 2013). Diante dessas discussões, é apontado pelos autores que “a partir do conhecimento dos objetivos da química” é necessário “direcionar critérios de seleção de conteúdos para ensinar esta ciência” através da reestruturação do ensino de química em todos os níveis (ensino fundamental, médio e superior) em consideração a vários aspectos filosóficos (Lemes; Porto, 2013, p. 135).

É nesse sentido que dialogamos com a Pedagogia Histórico-Crítica (PHC), uma teoria pedagógica em construção, formulada na década de 1980 pelo Prof. Dermeval Saviani em resposta contrária às tendências neoliberais construtivistas na educação e em atendimento aos interesses da classe trabalhadora, visando à superação do capitalismo pelo socialismo. Essa pedagogia, como recém fundada,

quase não tem desenvolvimento na área de Educação em Ciências (EC), e a maior parte do que é desenvolvido não se fundamenta no materialismo histórico-dialético, como apontado por Massi *et al* (2019) ao fazer uma revisão bibliográfica que buscava analisar a incorporação da PHC pelas pesquisas em EC. Os autores relatam que, apesar do enorme esforço exercido pelos pesquisadores dessa área, foram identificados alguns aspectos que os distanciam dos fundamentos da PHC, como: o ecletismo teórico-metodológico (mesclando a PHC com teorias e metodologias que não se fundamentam no materialismo histórico-dialético); o utilitarismo dos cincos momentos propostos por Saviani; a prática social entendida como cotidiano; a ausência da mediação dialética nos cinco momentos; e o esvaziamento de sentido da catarse (Massi *et al*, 2019).

Os cinco momentos propostos por Saviani (2011) são: prática social, problematização, instrumentalização, catarse e prática social, de modo que o processo de ensino e aprendizagem parte da prática social caótica compartilhada entre alunos e professores para se transformar, por meio da problematização, instrumentalização e catarse, em uma prática social concreta pelos estudantes, compreendida em suas múltiplas determinações. Esses momentos, como o próprio autor menciona, não são estáticos e pontuais no trabalho docente, mas trabalhados de forma conjunta, coordenada, em movimento de ida e vinda de acordo com a concretude da escola, dos estudantes, dos professores, do contexto político e social, etc.

Os dados analisados por Massi *et al* (2019) fortalecem as discussões de Galvão, Lavoura e Martins (2019) sobre a didatização da PHC com enfoque nos procedimentos de ensino, que se limita aos cinco momentos pedagógicos como sequenciais e fragmentados, se distanciando da lógica dialética, como fez Gasparin (2012), a primeira referência da didática histórico-crítica. Frente a sistematizações realizadas na área dessa pedagogia, Galvão, Lavoura e Martins (2019, p. 146) defendem que há

> a necessidade de organização e desenvolvimento de um ensino pautado na lógica dialética – e somente assim –, sendo capaz de proporcionar aos alunos uma reflexão pedagógica ampliada da prática social, verdadeiramente comprometida com seus interesses e necessidades históricas.

A partir do materialismo histórico-dialético, Saviani (2011, p. 6) define o trabalho educativo como “o ato de produzir, direta e intencionalmente, em cada

indivíduo singular, a humanidade que é produzida histórica e coletivamente pelo conjunto dos homens". O modelo atômico é parte dessa humanidade, do desenvolvimento do gênero humano, e necessita ser socializado intencionalmente na escola pública. Como parte desse desenvolvimento, o modelo atômico produziu e foi influenciado por concepções de mundo de diferentes momentos históricos e distintas relações sociais. De acordo com Rosa (2018, p. 22), "a concepção de mundo é o conhecimento produzido a partir do trabalho", que se relaciona a natureza, tanto na "sua forma mais pura" quanto na "modificada pelo homem", e "ao mundo produzido pelo homem a partir da natureza".

Um dos aspectos importantes da concepção de mundo é sua simultaneidade individual e coletiva, de modo que as singularidades da vida de cada indivíduo é também constituída coletivamente em conteúdo e forma: o coletivo garante a amplitude da concepção de mundo, se limitando à universalidade do gênero humano; o individual é variável de acordo com as possibilidades para se desenvolver a individualidade (Duarte, 2015). Rosa (2018, p. 69) destaca que "cada indivíduo humano pertence a um tipo histórico e social, o que costuma envolver nação, etnia, gênero e, fundamentalmente, classe social", o que nos revela o caráter individual e coletivo da concepção de mundo que "reflete os aspectos singulares e universais" por elementos particulares que medeiam o indivíduo à coletividade, sendo o trabalho pedagógico um desses elementos. Como discute Duarte (2015, p.15), a concepção de mundo de um determinado indivíduo, mesmo inovadora e revolucionária "sempre será expressão de sua inserção no curso da história humana, com suas contradições, seus conflitos, seus dramas e seus limites".

A concepção de mundo se apresenta no âmbito social e no âmbito dos indivíduos singulares, de modo que no primeiro a concepção de mundo é heterogênea, com tipos distintos de concepções, como as teorias científicas, as religiões etc, e no segundo a concepção de mundo depende da atividade que o indivíduo se desempenha no mundo e como se apropria dos conhecimentos produzidos histórica e socialmente - que se relacionam com os alcances abstrativos do pensamento (Rosa, 2018). O que define uma concepção de mundo, segundo Duarte (2015, p. 13), "é seu grau de elaboração e sistematização, que pode variar desde o nível mais elementar que é o do senso comum, até o da consciência filosófica".

Diferente da teoria da evolução, estudada por Rosa (2018), o modelo atômico se situa em um período histórico mais longo, desde a Grécia Antiga até os modelos quânticos do século XX, e perpassa por rupturas e mudanças na concepção de mundo, produzidas pelo desenvolvimento do método científico, como veremos no capítulo histórico deste texto.

As discussões apresentadas por Melo (2002), Mortimer (2000) e Chaves, Santos e Carneiro (2014) sobre a abordagem histórica linear de cientistas ilustres, a inexistência do vazio e a descrença no átomo desembocam na filosofia da química com os questionamentos colocados por Lemes e Porto (2013) sobre a natureza da química, a ênfase da modelagem na química e a necessidade da criação de critérios de seleção de conteúdo com base em aspectos filosóficos. Essas discussões se cruzam com a construção coletiva da PHC, que tem poucos trabalhos no ensino de ciências, principalmente os que adotam o materialismo histórico-dialético, além da necessidade de desenvolver a didática das áreas específicas pela lógica dialética. Para preencher essas lacunas, é necessário um estudo das bases materialistas dialéticas dos modelos atômicos e do seu papel na formação da concepção de mundo - as dimensões filosófico-científica e pedagógica. Como apontado por Galvão, Lavoura e Martins (2019, p. 146-147)

> Se a prática pedagógica exige, por parte dos professores, pleno domínio do objeto do conhecimento, para que o ato de ensinar histórico-crítico se concretize verdadeiramente, entendemos ser fundamental que isso ocorra por meio de um eixo e de uma dinâmica pautados na lógica dialética. O eixo e a dinâmica do ato de ensinar possibilitam que os professores questionem e reflitam sobre a importância daquilo que ensinam aos alunos, deixando em destaque a função social de sua prática de ensino no âmbito da formação dos indivíduos.

Diante do exposto, esta pesquisa pretende propor diretrizes para o ensino de química aos professores que se fundamentam na PHC e responder qual o papel dos modelos atômicos para a construção da concepção de mundo materialista, histórica e dialética. Assim, o **objetivo geral** deste trabalho é identificar possíveis aproximações ou distanciamentos entre os aspectos filosóficos dos modelos atômicos e o materialismo dialético a partir da materialidade do átomo, apontando implicações para o ensino de química histórico-crítico. Este objetivo geral se desdobra nos seguintes objetivos **específicos:**

- Caracterizar os principais elementos sobre o desenvolvimento dos modelos atômicos e as discussões da filosofia da química que se aproximam da filosofia materialista dialética.;
- Explicitar as implicações dessas aproximações ou distanciamentos do materialismo dialético com os pressupostos filosóficos dos modelos atômicos visando à contribuição com o ensino histórico-crítico e à formação da concepção de mundo materialista, histórica e dialética.

Para atingir esses objetivos, este texto se divide em seis seções:

Na seção 2, "Uma abordagem materialista e dialética do problema", discutimos sobre o estudo teórico-conceitual como nossa metodologia de coleta e análise de dados, com base em Martins e Lavoura (2018).

Na seção 3, referencial teórico: a materialidade para o materialismo histórico-dialético, discutimos sobre a materialidade com bases materialista históricas e dialéticas (Engels, 2020, 2015; Lénine, 1982; Cheptulin, 1982; Ovchinnikov, 1955; Fataliev, 1966).

Na seção 4, "Desenvolvimento histórico dos modelos atômicos", recorremos à leitura de obras de historiadores da ciência e da química (Bernal, 1969; Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996) para compreender como se dá o movimento histórico da constituição dos modelos atômicos, apresentando sua relação com a formação social e econômica de cada época e com o desenvolvimento científico, em especial, da química.

Na seção 5, "Principais discussões da filosofia da química", localizamos a nossa pesquisa dentre as diversas temáticas debatidas pela filosofia da química e especificamos a relação do nosso objeto de pesquisa com a área e apresentamos o acervo de análise (composto por artigos escritos por químicos, físicos, historiadores da química, historiadores da ciência que enfocam na discussão sobre os modelos atômicos ou a teoria atômica).

Na seção 6, "Aspectos filosóficos da materialidade dos átomos", trazemos a exposição da análise de nove artigos na tentativa de buscar compreender os aspectos filosóficos relacionados à materialidade dos átomos discutidos na filosofia da química.

Na seção 7, "Implicações para o ensino de química histórico-crítico de modelos atômicos", discutimos aspectos da dimensão filosófico-científica do

conteúdo de modelos atômicos, no que diz respeito à existência real dos átomos, para a formação da concepção de mundo materialista, histórica e dialética e reforçar que há um indicativo dos modelos atômicos enquanto clássico da química.

2. UMA ABORDAGEM MATERIALISTA E DIALÉTICA DO PROBLEMA

Esta é uma pesquisa conceitual de natureza bibliográfica, nos termos estabelecidos por Martins e Lavoura (2018), sendo nosso objeto de pesquisa os modelos atômicos, entendidos como uma sistematização de conceitos e teorias das abstrações do pensamento e que é mediador da captação do real. Na pesquisa conceitual, estabelecemos uma relação indireta com o objeto, pois nos voltamos para as abstrações do pensamento sistematizadas em relação a esse objeto, de forma que é necessário se sustentar na prática histórico-social (Martins; Lavoura, 2018).

Para o materialismo histórico-dialético, método de conhecimento da realidade, a atividade científica é teórica, portanto, é a reprodução do movimento real do objeto no plano do pensamento, enquanto processualidade histórica e dinâmica, característica da própria realidade: o caminho de investigação proposto por esse método é o 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, é necessário encontrar as relações e os nexos entre os diferentes elementos que são constituintes da totalidade do objeto (Martins; Lavoura, 2018).

Antes de selecionarmos o acervo em que o objeto será analisado, buscamos delimitar o problema de pesquisa, o qual expressa teoricamente uma síntese dos elementos dos conhecimentos teóricos apreendidos pelas pesquisas científicas, pois é “elaborado no confronto teórico entre o conhecimento já alcançado pela humanidade a respeito dos processos naturais e sociais e aquilo que ainda se faz necessário conhecer” (Martins; Lavoura, 2018, p. 234).

Buscamos corresponder ao pressuposto geral da justificativa da pesquisa científica: a necessidade de investigação para o avanço e desenvolvimento das discussões sobre os modelos atômicos, particularmente, na filosofia da química e, em um segundo momento, para a educação em química. Para isso, inicialmente relacionamos artigos nacionais e internacionais que apresentam as principais discussões da área da filosofia da química, com o propósito de situar a pesquisa no panorama atual da filosofia da química e suas discussões sobre modelos atômicos. Para obter essa relação de textos, fizemos um levantamento bibliográfico não

sistemático em busca de artigos que apresentassem as questões mais debatidas na constituição da filosofia da química.

É necessário, no entanto, apresentar ao leitor o nosso referencial teórico para que compreenda de que concepção estamos partindo e que nos levou a perceber tanto na história dos modelos atômicos quanto nas discussões da filosofia da química possíveis relações com a materialidade dos átomos. Por isso, apresentamos a seguir o referencial teórico, em seguida, o desenvolvimento histórico dos modelos atômicos e as principais discussões da filosofia da química.

Antes de adentrarmos no texto propriamente dito, é importante fazer algumas ressalvas ao leitor. Nos capítulos seguintes aparecerão referências que têm posições filosóficas distintas, se vinculando a diferentes vertentes, e que até se encontram em extremos opostos (Quadro 1). No entanto, como nosso objeto de estudo é educacional e temos limitações tanto na filosofia e quanto na história (podendo apresentar uma interpretação reducionista em alguns aspectos, captando apenas elementos de ambos os campos voltados para esse objeto e sem produzir efetivamente uma historiografia ou um sistema filosófico), utilizaremos tais referências tendo o objetivo de sistematizar, de modo geral, as principais discussões que fizeram parte da constituição da filosofia e história da química no que diz respeito à formulação dos modelos atômicos pela humanidade.

No Quadro 1 são apresentados os autores que são parte dessas referências e que compõem cinco grupos de diferentes contextos, temporalidades, posições científicas, filosóficas e políticas. Os quatro primeiros grupos se alinham e o último grupo se difere e até se opõe aos anteriores em relação às posições filosóficas e políticas.

Quadro 1. Referências utilizadas e suas particularidades contextuais

	Autores e períodos	**Contexto**
1	Marx e Engels (1840-1880)	Fundadores do materialismo histórico-dialético, em tal período formularam as primeiras tentativas de compreender a história da natureza e a da sociedade de forma dialética, época de intensificação das lutas operárias e de expressivas contradições no próprio desenvolvimento da ciência moderna às teorias estabelecidas até então nos seus diferentes campos;
2	Lenin (1900-1920)	Revolucionário soviético, foi chefe de governo e teórico político, mas também fez discussões no campo da filosofia, fundamentando-se em Marx e Engels, especificamente em contraposição ao surgimento do empiriocriticismo de Ernst Mach, que teve expressiva adoção por parte dos cientistas e filósofos russos no início do séc. XX, sendo criticada por Lenin por ser uma tendência idealista disfarçada de materialismo

3	John Desmond Bernal (1920-1960)	Cientista irlandês, caracterizou a estrutura molecular do grafite, fez parte do partido comunista inglês até 1933 (porém se declarou marxista a vida toda) e se dedicou também a ensaios filosóficos e a história da ciência (com uma das suas mais importantes obras, dividida em quatro volumes, “Ciência na História”, utilizada no capítulo histórico dessa dissertação). Por sua vinculação política, tinha dificuldades em ser reconhecido pela comunidade científica, não recebendo o Prêmio Nobel pela sua notável contribuição à química, e suas obras levaram uma quantidade considerável de críticas (como pelas autoras Bensaude-Vincent e Isabelle Stengers), inclusive, pelos próprios marxistas que reconhecem algumas limitações nas obras históricas do autor por fazer algumas conexões diretas entre a história e o desenvolvimento do conhecimento científico. Ainda assim, suas obras tiveram grande relevância para compreender essas relações.
4	Fataliev, Ovtchinnikov e Cheptulin (1950-1980)	Autores soviéticos que viveram durante o regime stalinista e como discutido por Vihalemm (2010), apresentam algumas características devido a esse contexto (o endeusamento do Stalin e do partido, com o prefácio e a conclusão dos textos relacionadas às tarefas do partido; as ciências naturais tinham que se alinhar ao materialismo dialético, pois a filosofia soviética marxista era obrigatória nas universidades e outras perspectivas não eram bem recepcionadas, podendo até ser censuradas - nos congressos científicos e com demissões dos professores), das quais reconhecemos essas limitações, mas em nossa avaliação os autores trazem uma sistematização das obras fundamentais do materialismo dialético, além de enfatizar a necessidade de se investigar filosoficamente a história da ciência. Com isso, é possível filtrar os conteúdos que trazem contribuições relevantes para o nosso objeto de estudo, sem propagar tais equívocos listados, como pretendemos mostrar ao longo da dissertação;
5	Bernadette Bensaude-Vincent e Isabelle Stengers (1980-atual)	Bensaude-Vincent é uma filósofa e historiadora da ciência francesa. Isabelle Stengers é química, filósofa e historiadora belga. Autoras contemporâneas da filosofia da ciência e principais referências da história da química com reconhecimento internacional de suas contribuições com o livro “História da química”, utilizado no capítulo histórico dessa dissertação. Se dedicaram, cada uma com suas especificidades, a estudar as relações entre a história, a ciência e a sociedade, e neste sentido, fizeram críticas à Bernal e refutaram algumas das suas proposições nessas relações. A epistemologia das autoras são influenciadas e alinhadas às proposições de Gaston Bachelard e Bruno Latour, reconhecendo a influência dos aspectos externos à ciência, das condições que o conhecimento científico foi produzido, no entanto criticam um certo exagero sociológico nessas análises (como feito por Bernal).

Fonte: Elaboração própria.

3. REFERENCIAL TEÓRICO: A MATERIALIDADE PARA O MATERIALISMO HISTÓRICO-DIALÉTICO

> O progresso das Ciências da Natureza sempre foi inseparável da luta entre o materialismo e o idealismo, entre a dialética e a metafísica. Mas, segundo o período histórico, é tal ou qual aspecto dessa luta que sobressai em primeiro plano. No século XVII e, em parte, no século XVIII, o materialismo mecanicista e metafísico se desenvolveu numa luta contra o idealismo e a teologia e representou na Ciência um papel progressista, embora suas deficiências tenham sempre deixado acesso ao idealismo e à teologia. Nessa época, a luta entre a dialética e a metafísica ainda não podia estar no primeiro plano (Fataliev, 1966, p. 46).

No processo de conhecimento da realidade, para a filosofia materialista, a origem da relação entre o sujeito e o objeto está no objeto e parte da sua premissa fundamental: a matéria existe antes e independente da consciência humana - o ponto de partida é o objeto, diferente da concepção da filosofia idealista, em que o ponto de partida é o sujeito (Cheptulin, 1982). Se o sujeito é a origem dessa relação, a realidade é um produto da consciência humana, condicionada pelas nossas percepções e sensações, e só é possível conhecê-la pelo desenvolvimento do espírito. Se o objeto é a origem dessa relação, a realidade é um produto de suas próprias partes, da transformação material, e só é possível conhecê-la compreendendo as relações entre os objetos.

A consciência é uma das formas de reflexo da matéria e para surgir depende do desenvolvimento do cérebro e do sistema nervoso, de forma inerente, e também do trabalho, do desenvolvimento social, pois é precisamente o segundo que possibilitou a transformação do reflexo em consciência, em reflexo consciente da realidade (Cheptulin, 1982). A consciência é o reflexo subjetivo da realidade objetiva: depende tanto das condições desse sujeito, de seu sistema nervoso e cerebral, quanto da realidade ambiente a qual ele reflete de forma inerente (Cheptulin, 1982; Lénine, 1982).

Para o idealismo, a consciência produz a matéria, as coisas sensíveis, ou seja, a matéria é um reflexo da consciência, das ideias. A consciência como reflexo da realidade é uma concepção marxista que se opõe diretamente ao idealismo, pois para o materialismo dialético, em acordo com as ciências da natureza, a matéria é primária, existente independente da consciência, e a consciência e as sensações é

secundária, reflexo da própria matéria (Cheptulin, 1982; Lénine, 1982). Materialismo é reconhecer a existência do objeto em si, das leis objetivas da natureza e do reflexo delas na consciência humana; da matéria como categoria filosófica que denomina a realidade objetiva, em que as sensações e as ideias são como cópias que refletem esses objetos (Lénine, 1982). Para Marx, o saber é o modo de existência da consciência, pois compreende o conjunto de imagens da realidade objetiva produzidas no cérebro humano ao interagir com o mundo, contendo informações sobre propriedades e ligações dos objetos nos fenômenos (Cheptulin, 1982).

A materialidade do mundo e a objetividade das leis de seu desenvolvimento são demonstradas por toda marcha de desenvolvimento da filosofia e das ciências naturais (Ovtchinnikov, 1955). Os fenômenos do mundo representam diferentes aspectos da matéria em movimento e a conexão mútua e interdependência entre esses fenômenos são as leis do desenvolvimento da matéria em movimento (Ovtchinnikov, 1955). Da mesma forma, Engels (2020, p. 170) afirma que:

> Toda a natureza acessível a nós compõe um sistema, um nexo global de corpos, mais precisamente, entendemos por corpos todas as existências materiais, desde os astros até o átomo [...]. No fato desses corpos existirem dentro de um contexto já está contido que incidem uns nos outros e essa incidência mútua justamente é o movimento. Aqui já se mostra que a matéria é inconcebível sem movimento. E, quando, além disso, nos defrontamos com a matéria como algo dado, tão impassível de ser criado quanto de ser destruído, disso resulta que também o movimento é tão impassível de ser criado quanto de ser destruído. Essa inferência se tornou incontestável assim que o universo foi conhecido como sistema, como interconexão de corpos.

Como definido por Lénine (1982), a realidade objetiva é matéria em movimento, e em acordo com Engels (2020), ao afirmar que não é possível separar a matéria do movimento, todas as formas e espécies de corpos somente existem no tempo e no espaço, em relação com os outros: as ciências da natureza, ao tomar a matéria em movimento como seu objeto, se depara com a interconexão entre os movimentos individuais de cada corpo, sendo condicionados um pelo outro, de forma que um movimento é seguido de outro, com relações causais; e ao compreender as condições que ocorre, é possível reproduzi-los e, inclusive, produzir o que não ocorre espontaneamente na natureza, como é feito pela indústria química, por exemplo. “O conhecimento das diferentes formas de movimento é, portanto, o objeto principal da ciência natural” (Engels, 2020, p. 154). Como exemplificado por Engels (2015, p. 90):

> Todo repouso, todo equilíbrio é apenas relativo, só tem sentido relativamente a esta ou àquela forma bem determinada de movimento. Um corpo que pode, por exemplo, encontrar-se em equilíbrio mecânico sobre a Terra, pode estar mecanicamente em repouso; isso de modo algum o impede de participar do movimento da Terra e do movimento de todo o sistema solar, assim como não impede as suas menores partículas físicas de efetuar as vibrações condicionadas por sua temperatura, nem seus átomos materiais de passar por um processo químico. A matéria sem movimento é tão impensável quanto o movimento sem a matéria.

A materialidade do mundo é objeto de intenso embate entre materialismo e idealismo: a relação mútua entre o ser e o pensamento, a matéria e a consciência (Ovtchinnikov, 1955; Cheptulin, 1982; Fataliev, 1966; Lénine, 1982). O importante não é saber qual vertente um filósofo adere, mas o que ele assume como primário e secundário: a matéria em movimento ou a consciência, a razão, o espírito? (Lénine, 1982). O idealismo, em suas variadas vertentes, reduz a diversidade dos fenômenos do mundo à ideia absoluta, à consciência ou às sensações, negando a existência da matéria independente da consciência humana. Para as filosofias materialistas metafísicas e mecanicistas dos séculos XVII e XVIII (antecessoras do materialismo dialético), a matéria era, em primeiro lugar, primária em relação à consciência e seu modo de existir era imutável, inerte e passivo (Ovtchinnikov, 1955; Cheptulin, 1982).

A base da concepção metafísica é a ideia de imutabilidade da natureza e o estudo dos objetos isolados, fixos, rígidos, sobre os fenômenos naturais: “a causa e o efeito se opõem de maneira igualmente rígida, o positivo e o negativo se excluem reciprocamente” (Fataliev, 1966, p. 41). A base da concepção mecânica é a compreensão de que as mudanças são apenas alterações de lugar e, portanto, todas as diferenças qualitativas provém de diferenças quantitativas, não captando a reciprocidade da relação entre qualidade e quantidade - em que elas se convertem uma na outra (Engels, 2020). A partir dessa concepção mecânica, interpretamos que a matéria “consiste em minúsculas partículas idênticas e que todas as diferenças qualitativas dos elementos químicos da matéria são causadas por diferenças de quantidade e agrupamento local dessas minúsculas partículas em forma de átomos” (Engels, 2020, p. 163).

As concepções mecanicistas e metafísicas sobre a natureza foram determinadas pelo desenvolvimento da ciência da época, havendo a redução dos fenômenos da natureza ao simples movimento mecânico de corpos materiais: os átomos foram considerados indivisíveis, imutáveis e sem diferenças qualitativas

(Fataliev, 1966). Essa redução, no entanto, se tornou impossível com o desenvolvimento da ciência moderna no domínio das ciências da natureza e seus estudos de fenômenos eletromagnéticos, químicos, biológicos e outros: com o conhecimento da estrutura atômica - um núcleo circundado por uma região eletrônica, além de dezenas de partículas subatômicas, como os prótons, elétrons, nêutrons, pósitrons, mésons, neutrinos, fótons etc -, a estrutura da matéria se revelou mais complexa, com conexões particulares e distintas propriedades, contrariamente ao que antes parecia simples e indivisível (Ovtchinnikov, 1955). Com o materialismo metafísico e mecanicista era possível extrair das relações naturais as leis que regem os fenômenos, no entanto "para explicar as causas geradoras desses fenômenos e de sua interdependência recorria-se a forças estranhas à natureza, abria-se um lugar para a teologia" (Fataliev, 1966, p. 45).

Foi demonstrada a inconsistência dessas concepções e a necessidade de outra que considere esses novos resultados científicos - o que viria a dar as bases para a concepção marxista de natureza ou o materialismo dialético: foram Marx e Engels que demonstraram que o conteúdo objetivo da ciência havia ultrapassado os limites da metafísica e do mecanicismo do século XVIII e que, no entanto, os próprios sábios ainda se limitavam a elas (Fataliev, 1966). "Após haver revelado esse conflito, Marx e Engels mostraram que o desenvolvimento da Ciência impunha a criação de uma concepção materialista e dialética do mundo" (Fataliev, 1966, p. 58).

Os materialismos mecanicista e metafísico partem de uma premissa fundamental: a matéria existe primeiro e independente da consciência humana. No entanto, não levam em conta que, ainda que essa premissa seja verdadeira, o sujeito, a consciência humana, tem influência sobre a realidade material também, mesmo não existindo antes da matéria. Esse sujeito é social para o materialismo histórico-dialético: é denominado de trabalho, por Marx (2013), o processo no qual o ser humano, em virtude das suas necessidades de existência, transforma os objetos, existentes na realidade independente da sua consciência, e se apropria dessa transformação, visando à satisfação dessas necessidades por meio da produção de novos objetos, agora com funções sociais determinadas pelos seres humanos. Deste modo, para o materialismo histórico-dialético, a premissa fundamental ainda é válida, no entanto, também há que se considerar que o ser humano transforma os objetos materiais para uma função determinada socialmente e a si mesmo nessa

relação com os objetos, gerando uma gama de possibilidades para compreensão e transformação da realidade objetiva. Nesse sentido, há uma dialética entre sujeito e objeto para essa filosofia, de modo que a partir da realidade dada, o ser humano abstrai a materialidade ao nível da consciência, isolando, classificando, diferenciando e relacionando os objetos para, por fim, desvelar a totalidade e as múltiplas determinações desse objeto concreto no retorno à realidade. Esse processo leva à formação do ser social.

Com isso, o materialismo dialético é “a ciência das leis mais gerais do desenvolvimento da natureza, da sociedade e do pensamento” (Fataliev, 1966, p. 58). Na segunda tese no escrito das Teses sobre Feuerbach, Marx (1845, n. p.) define a práxis como o critério da verdade: somente por ela é possível identificar se um pensamento é verdadeiro e qualquer discussão sobre realidade que não considere isso é pura escolástica.

O materialismo dialético reconhece que o conhecimento da natureza tem um caráter temporário, relativo e aproximativo, tal como o átomo, que era considerado indivisível e, com seu aprofundamento, se revelou divisível com a descoberta do elétron, que é tão inesgotável quanto o átomo; desta forma, a natureza existe infinitamente e a teoria é uma “cópia aproximada da realidade objetiva”; esse reconhecimento é suficiente para diferenciar o materialismo dialético do relativismo e do idealismo (Lénine, 1982, p. 201). Os limites da natureza se modificam de acordo com a aproximação da nossa mente com a realidade objetiva, no entanto, de forma alguma isso mostra que a própria matéria é convenção, um símbolo, produto da nossa mente (Lénine, 1982). “A destrutibilidade do átomo, a sua inesgotabilidade, a mutabilidade de todas as formas da matéria e do seu movimento foram sempre o apoio do materialismo dialético” (Lénine, 1982, p. 213). A lei da conservação de Lomonosov, por exemplo, “traduz a eternidade e a indestrutibilidade da matéria e do movimento, a interdependência e o encadeamento dos fenômenos da natureza” (Fataliev, 1966, p. 47).

Importante ressaltar que, para o materialismo dialético, o mundo é infinito e diverso e a matéria não pode ser reduzida aos átomos, como sua essência imutável, e por isso que a descoberta do elétron fortalece o materialismo dialético e desmente apenas o materialismo metafísico (Cheptulin, 1982).

Como é discutido por Fataliev (1966), as fontes da Filosofia das Ciências no século XX remetem às correntes idealistas, desde o agnosticismo de Hume e o

subjetivismo de Berkeley até o positivismo de Comte e o empiriocriticismo de Mach. Essas correntes reduzem as ciências a física ao tomar a linguagem da física como a forma universal da linguagem científica, suprimindo que a unidade das ciências se encontra, na verdade, na materialidade do mundo e que suas leis são o objeto de estudo da filosofia (Fataliev, 1966). Essa redução não é nova, já havia sido proposta por Newton e Descartes, porém das ciências à mecânica, com base no materialismo mecanicista, o que na época se mostrou importante na luta contra o idealismo e que, agora, com o fisicalismo, se coloca, ao contrário, em favor do idealismo subjetivo na forma do neopositivismo, em que falsamente se baseia nas descobertas modernas da física (Fataliev, 1966). O mecanicismo ainda se apresenta na tentativa de "estender as leis estabelecidas para os fenômenos de um domínio particular para outro domínio" (Fataliev, 1966, p. 71).

No próximo capítulo, pretendemos explorar no desenvolvimento histórico dos modelos atômicos como:

> As necessidades da produção, da prática social, fixam tarefas à ciência e impõem certo caráter ao seu desenvolvimento, aos problemas que elabora nas diversas etapas da história. O desenvolvimento da produção cria as condições materiais e as técnicas das descobertas científicas, põe entre as mãos dos pesquisadores os meios de experiência necessários. Finalmente, é o desenvolvimento da produção que determina o método geral prevalecente na Ciência. É preciso também levar em conta a luta de classes e da ideologia dominante (Fataliev, 1966, p. 35).

Ao longo desta dissertação, tentaremos expor o embate entre materialismo e idealismo e o debate da existência real ou não dos átomos, pois os artigos relacionados à temática atribuem a não existência devido aos átomos serem "entidades" criadas pela consciência humana como ferramenta para a experimentação ou para representar os fenômenos, e que, por isso, não podemos dizer que são reais. O materialismo dialético nos fornece bases filosóficas para pensar de que forma os modelos atômicos têm alguma proximidade com a realidade e as suas limitações. Pode nos orientar caminhos para superar esse debate e, principalmente, para ampliar a compreensão do conteúdo dos modelos atômicos, com suas bases filosóficas explicitadas a fim de repensar nas formas que se pode tomar na educação em química.

4. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DOS MODELOS ATÔMICOS

Neste capítulo, pretendemos proporcionar uma maior compreensão sobre os aspectos filosóficos em disputa ao longo da história: perceber que a materialidade dos átomos é um dos temas mais espinhosos até hoje na física e na química, e estabelecer relações com os modos de produção e as forças produtivas de cada época. Tentamos, assim, demonstrar que a materialidade dos átomos, ou seja, a realidade objetiva dessas partículas não está limitada somente à evidência experimental, mas que a própria prática histórica e social exige o aprofundamento e o desvelamento do caráter descontínuo e infinito da matéria.

É importante ressaltar que essa pesquisa tem enfoque filosófico: não temos a pretensão de fazer uma historiografia dos modelos atômicos e, por isso, somente consultamos as fontes secundárias, com o intuito de compreender de forma geral como se deu o desenvolvimento da teoria atômica ao longo da história, seus embates, controvérsias e influência das classes sociais nesse processo. Além disso, reconhecemos que existem diversos trabalhos importantes de historiadores que já sistematizaram essa história; portanto, não temos a pretensão de inserir nossa pesquisa nesse âmbito, apenas apresentar brevemente para o leitor esses elementos históricos. Com isso em mente, utilizamos as obras de Bensaude-Vincent e Stengers (1996), Vidal (1986), Bernal (1969), Engels (2020) e Fataliev (1966) para compor este capítulo. Os três primeiros livros são da história da química e da ciência, e os dois últimos são livros que constituem o referencial teórico desta dissertação (neles encontrei algumas discussões que se relacionavam com a história tratada pelos primeiros).

4.1. As especulações filosóficas sobre a matéria na Antiguidade e a divisão social do trabalho

Desde a Grécia antiga, encontramos discussões acerca da natureza da matéria, compondo duas teorias principais com embates ao longo da história. Em alguns momentos a explicação sobre a matéria parte de algumas premissas filosóficas, como a teoria dos elementos (Platão e Aristóteles, ~300 a.C.) e a teoria atômica (Leucipo, Demócrito e Lucrécio, ~400 a.C.) (Vidal, 1986). A teoria dos elementos expressa a matéria como contínua e divisível ao infinito (composta por 4 elementos: água, fogo, terra e ar), enquanto para a atômica é descontínua e indivisível, constituída por átomos, como se fossem tijolos da natureza e

constituíssem tudo, além de trazer a noção de vazio - a definição do ser implica na definição do não-ser, o que significa que “a matéria e o vazio devem, pois intervir ambos ao próprio nível da constituição do mundo” (Vidal, 1986, p. 17).

A escravatura e o domínio dos nobres não estavam consolidados na fase jônica ainda e seus filósofos não se preocupavam tanto com a moral e a política, mas muito mais com o estudo da natureza, apontando para um mundo em movimento, com transformações contínuas dos elementos materiais (Bernal, 1969). Os filósofos das fases posteriores aos jônios, como Aristóteles, consideravam os elementos estáticos, o que limitava qualquer ideia de modificação, principalmente a social: o mundo social e natural eram equivalentes, as classes inferiores tinham de se subordinar às superiores (Bernal, 1969).

A Grécia Antiga foi marcada pela divisão entre o trabalho intelectual e o trabalho manual: o primeiro pertencia aos homens, brancos, ricos e ociosos, e o segundo, aos escravizados e trabalhadores livres pobres (socialmente iguais no trabalho servil da sociedade escravista) (Bernal, 1969). Escravizados se tornaram a força de trabalho predominante, não mais como prestadores de serviço, mas como meios de produção para o mercado (agricultura, minas e atividades manufatureiras) (Bernal, 1969). As mulheres, independentemente da posição de classe que ocupavam, também sofreram esse rebaixamento social pelo domínio do sistema escravocrata, e eram praticamente escravas domésticas (Bernal, 1969). Na época, a maioria das suas atividades domésticas eram artísticas, como a tecelagem e a preparação de remédios caseiros - atividades que ficaram longe das preocupações filosóficas (Bernal, 1969).

A teoria dos elementos, em oposição à teoria atômica, encontrou um terreno favorável nos séculos seguintes, pois além de ter sido utilizada pela Igreja para justificar a existência divina, permitia, teoricamente, a transmutação dos elementos, que posteriormente deu bases para a alquimia - nas tentativas de transformar a prata e os outros metais em ouro, o que na época medieval simbolizava a riqueza (Vidal, 1986). Importante ressaltar que a emergência das propriedades químicas, por exemplo, foi introduzida por Aristóteles e hoje existem químicos e filósofos que retornam à ele pela atualidade em que o tema já tinha sido abordado. Também por isso, ele foi valorizado pela alquimia e teve uma importância pra química.

Com o crescimento acelerado das ciências após a Idade Média devido à produção, a indústria “trouxe à tona uma porção de novos dados mecânicos

(tecelagem, relojoaria, moenda), químicos (tinturaria, metalurgia, álcool) e físicos (óculos)" (Engels, 2020, p. 62). As descobertas geográficas, motivadas pelos interesses econômicos, também motivaram o desenvolvimento da ciência, passando a ser caracterizados aspectos meteorológicos, zoológicos, botânicos e fisiológicos (Engels, 2020). A Idade Média não é considerada uma interrupção da história por Engels (2020), que reconhece os progressos técnicos dos séculos XIV e XV. Fataliev (1966, p. 40), em acordo com Engels (2020), destaca o papel do desenvolvimento da indústria na produção de grandes quantidades de materiais, o que forneceu "os meios necessários à sua investigação experimental" e "o método analítico experimental recebeu, nas Ciências Naturais, uma vasta extensão".

A teoria atômica foi abandonada até praticamente o século XVII, pois suas bases eram materialistas, e só pôde se desenvolver com a química corpuscular e com o materialismo mecanicista no surgimento dos processos de separação e combinação de partículas (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Nesse ínterim, a teoria atômica, politicamente radical por seu caráter materialista, introduziu a ideia de que a existência do mundo não dependia de Deus, mas do funcionamento das suas próprias partes (Bernal, 1969). A autoridade platônica e aristotélica da época foi suficiente para evitar a sua difusão (Bernal, 1969). O atomismo grego não pode ser considerado científico, pois não chegava a conclusões verificáveis, mas faz parte da constituição histórica de todas as teorias atômicas modernas (Bernal, 1969).

4.2. A transição para o capitalismo e a retomada das teorias atômicas

O retorno das teorias atômicas a partir do século XV com a redescoberta da obra de Lucrécio não é uma história específica da química, mas "é um tema de múltiplos debates em filosofia, em teologia, em física e na estética" (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 43). Com o desenvolvimento da pneumática, o vácuo, controverso para a filosofia grega, se tornou central devido a sua importância industrial, trazendo à tona a hipótese atômica de Demócrito (Bernal, 1969). Mesmo que o atomismo tivesse problemas com a teologia, no século XVII, Pierre Gassendi (1592-1655) e Robert Boyle (1627-1691) o reinventaram ao defender "que os átomos permitem conceber o mundo como uma máquina, submetida à vontade do seu criador para o qual reverte toda glória" em que coloca o atomismo como a única doutrina cristã que se opõe ao "aristotelismo pagão",

tornando a química o centro dos debates sobre atomismo nesse século (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 43-44).

Ao tratar da transformação da matéria, a química se propõe a debater o que são os átomos, quais as explicações e implicações do atomismo, e os processos que podiam ser descritos pela matéria descontínua: a evaporação, a rarefação, a condensação e a dissolução (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Foi possível com a teoria atômica ou corpuscular de Boyle dar “uma explicação racional e quantitativa dos fenômenos da química”, que fora limitada por sua tradição mítica (Bernal, 1969, p. 458). Os átomos enquanto partículas maciças, inertes e que se movem no vácuo foi uma proposição de Gassendi, aceita quase unanimemente pelos filósofos naturalistas e presente mais tarde quase que igualmente na obra de Isaac Newton (Bernal, 1969).

Também no início do século XVII, foram comparados dois tipos de átomos pelo atomista Sebastianus Basso, conhecido por formular o conceito de molécula: o átomo alfabético e o átomo tijolo (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). O primeiro se refere à “diferença entre os átomos que confere sentido à sua combinação”, assim podemos dizer que, analogamente, são como as letras – com diferentes formas, fonética e sentidos – que se combinam para formar as palavras com um significado que faça sentido com essa combinação (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 47). Enquanto que o átomo tijolo remete à “uma matéria primordial homogênea, e reduz as diferenças qualitativas a uma questão de configuração”, análogos aos tijolos que se acumulam em diferentes arranjos para formar inúmeras possibilidades de construções (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 47). A depender do átomo adotado pode haver consequências distintas, pois se tratarmos o chumbo e o ouro como diferentes nas suas formas essenciais (como átomos alfabéticos), não é possível converter um no outro, no entanto, se os tratarmos como diferentes agregados de átomos (átomos tijolos), isso se torna possível (Vidal, 1986).

De acordo com Fataliev (1966, p. 39), o desenvolvimento científico da mecânica, da matemática e da astronomia nessa transição do feudalismo para o capitalismo foi determinado, por um lado, pelo desenvolvimento das forças produtivas que teve um avanço “da indústria de guerra, da hidrotécnica, da navegação marítima e das vias de comunicação” e na aplicação desses ramos; e, por outro lado, pela própria complexificação do processo de conhecimento que, para “compreender a natureza dos fenômenos físicos, químicos e biológicos mais

complexos, era preciso primeiro explicar o mecanicismo dos fenômenos mecânicos mais elementares".

Alguns filósofos, como Descartes e Locke, e físicos, como Galileu, acabaram por se aproximar do atomismo mecanicista, que recusa as diferenças qualitativas entre os átomos e aceita apenas "atributos geométricos" (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 51). Esta corrente do atomismo permitiu que as propriedades primárias ("extensão, forma, impenetrabilidade, massa") fossem importantes para diferenciar "os corpos fixos e os corpos voláteis, a dissolução ou a evaporação", porém, as propriedades químicas – como "as capacidades de um corpo destruir outro, as provas a que pode resistir, e aquelas que o destroem" – ficaram indeterminadas (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 51). Desta forma, o químico mecanicista é aquele que optou pelo átomo tijolo ao invés do alfabético, ao atribuir apenas as propriedades primárias aos átomos em detrimento das secundárias (cor, calor, som, etc), como Nicolas Lémery (1645-1715) e Robert Boyle (1627-1691) (Vidal, 1986).

Finais do século XVII, os países europeus mais avançados no modo capitalista de produção (Inglaterra, Países Baixos e norte da França) tinham a classe média urbana já liberta de limitações feudais em algum nível, o que dava condições para financiar a produção lucrativa (Bernal, 1969). Com as grandes navegações, em que a ciência foi estimulada e aplicada na prática, esses países tinham um mercado vasto para comercializar seus produtos ao redor do mundo com outros países ou suas colônias (Bernal, 1969). A produção, ainda manual e doméstica, começou a ser controlada pelos mercadores e manufatureiros, e os artesãos e camponeses passavam gradativamente à condição assalariada (Bernal, 1969). Tendo em vista o aumento dos lucros nas empresas, se tornaram necessárias invenções técnicas e científicas, como as máquinas têxteis e a máquina à vapor, que diminuíssem os custos e aumentassem a produtividade (Bernal, 1969). A organização do trabalho, a divisão e a especialização de tarefas, o sistema fabril e as máquinas surgiram também com essa finalidade (Bernal, 1969).

A química do final do século XVII se transforma de uma disciplina a ser ensinada, que se relaciona às práticas artesanais e à medicina, para a química da consolidação do capitalismo do final do século XVIII, conquistando um estatuto científico de autonomia, legitimidade, com bases sólidas e aplicações úteis para a sociedade (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Ao contrário do que ocorreu no

início da transição do feudalismo para o capitalismo, a ciência experimental passou a dar condições para o capitalismo se desenvolver a partir dos seus êxitos, promovendo um grande avanço técnico, que culminou na Revolução Industrial e na Revolução Francesa (Bernal, 1969). As guerras promovidas por Napoleão Bonaparte pela Europa resultaram em poucos prejuízos com os bloqueios britânicos, como o fornecimento de soda e açúcar (Bernal, 1969). O prejuízo não foi maior porque a França era um país com população quase três vezes maior que a Grã-Bretanha, garantindo uma indústria não tão desenvolvida, mas mais produtiva (Bernal, 1969). Com os bloqueios, ocorreu o desenvolvimento da indústria química francesa, tornando a química da França predominante (Bernal, 1969).

A manufatura capitalista foi um fator considerável para que a ciência transitasse da matemática, astronomia e medicina do século XVII para a química e os estudos térmicos e elétricos do século XVIII (Bernal, 1969; Fataliev, 1966). As indústrias pesadas passaram a produzir com base no carvão, transformando a antiga economia de terras e alimentos na nova economia energética (Bernal, 1969).

Com o avanço da química experimental, o acúmulo de materiais e substâncias e o conhecimento das propriedades e da transformação da matéria, a química produziu uma grande variedade de substâncias, muito maiores do que nas épocas anteriores (Bernal, 1969). Dessa mudança social radical, surge a necessidade de racionalizar uma nomenclatura química que comportasse a classificação das substâncias, dos inventários e das propriedades dos corpos com ou sem impurezas, feitas pelos químicos (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Durante o século XVIII, o desafio da química foi superar o atomismo mecanicista para conseguir sua própria autonomia enquanto ciência (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

As indústrias químicas e do ferro foram impulsionadas pelas indústrias têxteis com a necessidade da lavagem, da tinturaria e do ferro forjado para as inovações na mineração e nos transportes (Bernal, 1969). Cada vez mais o uso do carvão se tornava necessário, o que levou a uma transição da indústria do ferro, antes presente nas regiões de florestas próximas à extração da madeira, para a região das minas de carvão, em concentrados de diferentes indústrias (Bernal, 1969). A concentração da produção, antes dispersa nos condados feudais, é uma das principais características da Revolução Industrial (Bernal, 1969).

Com o desenvolvimento técnico bem sucedido da química nas indústrias e na mineração e por questões pedagógicas e epistemológicas no ensino da química, se tornou necessário o empenho para construir uma teoria de base, coerente com a nova química: racional e quantitativa (Bernal, 1969; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Somente foi possível projetar, a partir de uma estratégia teórica, “outro futuro epistemológico da química, abrindo acesso a uma realidade invisível, para além dos fenômenos” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 163).

Os gases, chamados espíritos, se tornaram importantes objetos de investigação química neste período, principalmente, pela sua presença nas minas de carvão, com características inflamáveis e parte do cotidiano dos mineiros (Bernal, 1969). Ocorriam explosões nas minas que liberavam grandes quantidades de gás carbônico, resultado da combustão do gás metano e que podiam asfixiar os trabalhadores (Bernal, 1969). Para compreender esses gases era necessário diferenciá-los qualitativamente, ou seja, especificar os constituintes do ar, e retomar o tratamento quantitativo de Boyle para as diferentes espécies de gases (Bernal, 1969). A questão que levou químicos a formular sua teoria se relacionava ao processo da queima: “O que é que acontece às matérias combustíveis quando ardem no ar?” (Bernal, 1969, p. 631).

Os químicos se entusiasmaram com os resultados exitosos provenientes do estudo dos gases, principalmente, de Lavoisier: a lei da conservação das massas tornou possível a previsão quantitativa dos fenômenos e a descoberta do oxigênio como substância participante da combustão (Bernal, 1969). Seu *Traité Élémentaire* se tornou um guia para a análise química, formando químicos com as bases e as operações de laboratório com o objetivo de decompor os corpos simples (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). A indústria química, auxiliar da indústria têxtil, refletiu os avanços do êxito desses estudos científicos que possibilitaram, por exemplo, a explicação e a produção do ácido sulfúrico, do cloro e da soda, substâncias relacionadas ao processo de branqueamento dos tecidos (Bernal, 1969).

No fim do século XVIII, a investigação química se tornou essencial para a indústria química com o desenvolvimento de novos materiais, como, as drogas sintéticas, provenientes do sucesso das transformações químicas na síntese dos corantes (Bernal, 1969). Devido a sua relação com a indústria têxtil, foi a ciência do século seguinte: se embasou nos “alicerces sólidos da revolucionária teoria atômica”

(Bernal, 1969, p. 566). A química do século XIX é tida como “uma ciência exemplar, um modelo positivista”, com químicos tomando posições renomadas nas sociedades científicas, nas academias científicas, nas instituições de pesquisa e ensino, e também em cargos políticos (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 139). “A acumulação é a regra. [...] A cada regime, o seu químico” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 138).

A produção dos químicos começou a ter uma relação mais estreita com o desenvolvimento industrial, transformando “a paisagem, o vestuário, a saúde e a vida quotidiana”, se tornando responsável pelas cores dos produtos manufaturados e a síntese de novos materiais, como os corantes sintéticos, mais baratos, para substituir os produtos naturais, muitas vezes escassos, raros ou custosos (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 148).

4.3. A ascensão do capitalismo e a consolidação da química moderna no século XIX: o embate entre a continuidade e descontinuidade da matéria em destaque

No aprofundamento das sínteses dos materiais, ao longo do século XIX, ocorreu o desenvolvimento da química orgânica: o surgimento da concepção realista do arranjo espacial dos átomos por Kekulé; a isomeria e o conceito de atomicidade; e, principalmente, as sínteses iniciadas por Berthelot (Vidal, 1986). Enquanto que na análise de Lavoisier, o controle da reação se dava pela entrada e saída de substâncias, com auxílio da balança; na síntese, além do controle dos produtos, é igualmente importante controlar os processos – as condições a que são submetidas as reações, por exemplo, temperatura, pressão, etc (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Assim, era importante para o químico conhecer “todos os processos já dominados e todos os reagentes disponíveis” para que surgissem novas possibilidades de sínteses de moléculas, ainda desconhecidas: o químico sintético cria mecanismos dentre muitas possibilidades de transformação e ao construir moléculas “mobiliza todas as faculdades – raciocínio, intuição, gosto estético” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 224).

Ainda que a maioria dos químicos não acreditasse na existência do átomo, como o próprio Kekulé, ele era indispensável para o conceito de atomicidade dos elementos para a química orgânica (Vidal, 1986). Por mais que sua existência fosse

questionada, no final do século XIX foi a partir dos átomos que se elaborou a linguagem química – também por isso era criticado de ser nada mais que uma linguagem ou “uma ficção útil” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 293). A descoberta do átomo para a química não era comparável às forças de Newton na física, não havia uma teoria do átomo químico e é difícil identificar químicos que acreditavam na existência do átomo, mesmo com o avanço da química orgânica com os modelos moleculares de bola-bastão (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Além da química, a eletricidade viria a atender uma demanda geral energética das indústrias menores e de melhorias para os serviços domésticos, principalmente, com a instalação de telégrafos e telefones, dos postes de iluminação nas ruas, além das redes de distribuição de água e gás (Bernal, 1969). Essa versatilidade elétrica proporcionou que se tornasse a energia motriz com distribuição universal e barata e com vários avanços científicos teórico-práticos relacionados à eletricidade ao longo do século XIX: os condutores e não condutores, as duas espécies elétricas (positiva e negativa), a lei da atração, a eletricidade animal de Galvani, a corrente elétrica, a bateria de Volta, o eletromagnetismo, a indução eletromagnética, o campo eletromagnético, as ondas eletromagnéticas, o dínamo, etc. (Bernal, 1969).

Neste sentido, Fataliev (1966) destaca que o calor, a eletricidade e o magnetismo tiveram um desenvolvimento intenso no século XIX que proporcionaram novas descoberta na química, geologia e biologia, de modo que contradiziam os métodos da mecânica e a imutabilidade da metafísica que eram defendidas pelos físicos e filósofos, e que assim a ciência havia superado os limites da mecânica e metafísica. Assim como Nye (1976, p. 245) discute sobre a controvérsia da teoria atômica e “a crise na comunidade científica do final do século XIX não era apenas de evidência e interpretação, mas também de metodologia científica e epistemologia. Em questão não estava apenas a teoria atômica, mas o próprio objetivo e a estrutura da teoria física”.

Era possível identificar nos manuais de química do século XIX, duas tendências: 1. “a tendência positiva da química analítica de se entregar ao estudo do particular, de tratar as substâncias químicas;” 2. “uma vontade de formar e formular ideias gerais sobre as transformações materiais, sobre a constituição dos corpos” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 161). E é esta segunda tendência, abandonada anteriormente pelos químicos em favor das experiências laboratoriais,

que retoma a discussão sobre os átomos na química na segunda metade do século XIX (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Neste sentido, John Dalton (1766-1844) na tentativa de explicar a solubilidade dos gases, como parte dos seus estudos meteorológicos, precisou buscar noções quantitativas, como o peso e o tamanho dos gases (Vidal, 1986; Viana; Porto, 2007). Como Lavoisier, Dalton também admite que é a repulsão advinda da ação do calórico entre os corpúsculos que forma os gases e conclui que seria necessário traçar diferenças entre os corpúsculos ou átomos dos gases pelo peso, além do tamanho e da forma (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Dalton não era ainda químico, era um tecelão inglês, meteorologista e, primordialmente, físico, que concentrou seus estudos nos gases fluidos elásticos, levando a explicar as propriedades da repulsão mútua entre os átomos, com base nos princípios newtonianos (Bernal, 1969). Os átomos de Dalton não são unidades mínimas de composição da matéria (como era para os químicos corpuscularistas), nem pressupõe as forças atrativas (como os newtonianos), mas são unidades mínimas de combinação (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Com base nisso, conseguiu supor as relações proporcionais possíveis entre os átomos das diferentes espécies de gases e pensar na explicação do peso dos elementos combinados serem definidos em múltiplos, como evidenciado pelo seu estudo dos novos gases: óxido nítrico, óxido nitroso e peróxido de nitrogênio, simbolizados por Dalton, respectivamente, NO, N_2O e NO_2 (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 dedica a determinar o peso relativo dos átomos. Para isso, estabeleceu como convenção o hidrogênio como unidade fixada, 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). “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).

Segundo Vidal (1986), os átomos de Dalton resolveram problemas relacionados à linguagem, às fórmulas e às classificações. No entanto, para os químicos analíticos, principalmente, o conceito de átomo não era útil, inclusive substituíram o peso atômico pelo peso equivalente (quase sinônimos) - muitos químicos, como Dumas se posicionaram contrários a adoção de um modelo teórico de átomo que resultaria em um retrocesso para a química, visto que já haviam sido superadas as especulações filosóficas pelas práticas laboratoriais dos químicos (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Ainda assim, a maioria dos químicos admitiam que o átomo era considerado uma das noções fundamentais para serem introduzidas em um tratado (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

> O desenvolvimento das máquinas a vapor e o emprëgo, em grande escala, do vapor na indústria e nos transportes, bem como a utilização técnica dos fenômenos elétricos e magnéticos tornada possível após a descoberta do eletromagnetismo, provocaram um imenso interesse por esses domínios da Física e criaram as condições materiais que permitiam realizar progressos ainda maiores (Fataliev, 1966, p. 48).

Com as descobertas das ondas eletromagnéticas e de aspectos elétricos da matéria, a física dava continuidade a teoria do campo, com as equações de Maxwell (Bernal, 1969). Suas formulações não pareciam ser compatíveis com a descontinuidade atômica e muito menos a descontinuidade quântica: “a ideia de átomos sempre parecera revolucionária e sempre andara associada a um pensamento generalizado de tipo ateu e revolucionário” (Bernal, 1969, p. 737). Os campos, geométricos e perfeitos, “são conservadores e contínuos" (Bernal, 1969, p. 738). Com os novos conhecimentos da virada do século, cada vez ficava mais difícil e até impossível de interpretar e explicar os fenômenos se não fosse em termos atômicos (Bernal, 1969).

Em consequência dos avanços técnico e científicos do século XIX, as indústrias tiveram um crescimento tão rápido que passaram a se agrupar em cartéis para inibir a concorrência, fazendo acordos para regular a comercialização dos produtos, como a fixação dos preços, o que levava a uma grande desvantagem para os pequenos empresários no mercado (Bernal, 1969; Hobsbawm, 2007). Além disso, a produção em série, o motor de combustão interna, os automóveis e a indústria do petróleo foram algumas das inovações que requisitavam grande capital para produzir e lucrar o suficiente, o que só era possível para os empresários monopolistas (Bernal, 1969). Desde as suas origens, por exemplo, as indústrias

química e elétrica foram monopolistas e resultaram, no século XX, em mais da metade dos centros de investigação estarem vinculados a essas firmas (Bernal, 1969).

4.4. As descobertas de partículas subatômicas e a decadência burguesa: comprovação ou falsidade da teoria atômica?

Os modelos cinéticos se tornam fundamentais para explorar as “entidades discretas para além dos fenômenos contínuos e observáveis”, como a radioatividade de Rutherford, a pressão osmótica de Van’t Hoff, a condutibilidade elétrica das soluções salinas de Arrhenius – permitindo a união entre a eletroquímica e a química dos sais, ácidos e bases, a partir dos íons (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 328). Também foi descrito o movimento browniano - dando subsídios para a hipótese atômica -, em que as moléculas estão em constante movimento evidenciado pelo “movimento incessante e irregular de uma partícula leve em suspensão num fluido” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 329).

Algumas descobertas científicas como os raios catódicos, a radioatividade, o efeito fotoelétrico e a teoria quântica, e a invenção de ultramicroscópicos, tornaram possível um aprofundamento nas pesquisas sobre a hipótese atômica, o que levou às confirmações experimentais das teorias cinético-moleculares com Theodor Svedberg, Max Seddig e Jean Perrin, 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).

Ainda nenhum químico tinha conseguido determinar o número de Avogadro, constante que aparecia em todos os modelos cinéticos (Vidal, 1986). É o físico Jean Perrin (1870-1942) que primeiro determinou esse valor mais precisamente, ao passo que para ele era necessário ter um experimento claro, que não abrisse margem para dúvidas e que fosse conclusivo: os átomos existem (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Perrin conseguiu conjugar duas teorias: do movimento browniano e do modelo osmótico de Van’t Hoff – tornando possível variar a natureza do líquido que os grãos coloidais estão suspensos, o volume dos grãos e a temperatura (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Perrin fazendo estas variações, caso o valor de N permanecesse o mesmo, significaria que seria sim possível fazer a contagem de átomos: reuniu um vasto conjunto de evidências cinéticas, por treze caminhos

distintos e independentes, que levam ao mesmo valor numérico de N, evidenciando que os átomos, moléculas e íons existem efetivamente (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

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 de Einstein e do átomo de Rutherford-Bohr (Vidal, 1986; BENSAUDE-VINCENT, 1996; Bernal, 1969). O progresso científico foi bastante rápido com o desenvolvimento dos estudos radioativos, conquistando fontes radioativas mais abundantes, como o polônio e o rádio, e evidenciando a não homogeneidade e simplicidade dos elementos (Bernal, 1969). Os elementos passaram a representar um conjunto de átomos semelhantes quimicamente, mas que se decompõem fisicamente de diferentes formas (Bernal, 1969).

Em continuidade aos estudos de radioatividade, Niels Bohr (1885-1962) tenta 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 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).

Bohr, já havia conhecimento do 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 de Planck resolveu uma dificuldade prática, mas introduziu uma dificuldade teórica na física: 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, descontínua (Bernal, 1969). Einstein aplicou na prática a teoria dos quanta e chegou aos fótons, partículas da luz que transferem somente os quanta de energia que possuem para as outras partículas - 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 Balmer (1825-1898) e Rydberg (1854-1919), Bohr compreende que as riscas desses espectros, tanto de absorção quanto emissão, era determinado pela mudança dos elétrons entre as órbitas, em que cada órbita possui um valor discreto de energia (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Os átomos têm órbitas eletrônicas sucessivas que circundam um núcleo positivo e que tornam 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).

Este é o átomo de Bohr, apropriado rapidamente pelos químicos, visto o valor intuitivo para os seus resultados, e aproximado à mecânica quântica. A tabela de Mendeleev agora se organiza por número atômico, que determina a posição dos elementos na tabela com base no número de elétrons e de prótons dos átomos, e a mudança entre os períodos se dá pelo “preenchimento sucessivo das órbitas” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 334). Para Bohr, a periodicidade da tabela de Mendeleev era devido a um limite no número de elétrons por órbita, ou seja, ao atingir esse limite, com a órbita cheia, muda a linha na tabela (Vidal, 1986; Bensaude-Vincent; Stengers, 1996).

Desta forma, foi possível elaborar um átomo que unisse os físicos e os químicos que poderiam compreender seus resultados de forma comum (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). O modelo de Bohr se inscreve na linguagem da teoria cinética (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996). Além de Einstein ter conjugado a quântica dos saltos eletrônicos e a radiação do corpo negro de Planck, “chegando assim à descrição cinética das probabilidades de transição electrônica. O átomo de Bohr permite, assim, articular os ‘átomos’ de Jean Perrin com o elemento de Mendeleev” (Bensaude-Vincent; Stengers, 1996, p. 337).

O modelo atômico quântico atual consolidado e apresentado nos livros didáticos de nível superior (Atkins, 2018) leva em consideração a dualidade onda-partícula da matéria, o princípio da incerteza, as funções de onda e os níveis de energia, além de apresentarem número quântico principal, orbitais atômicos e o spin do elétron. A complexificação da estrutura da matéria proporcionou avanços tecnológicos relacionados, por exemplo, aos processos de fusão e fissão nuclear e o desenvolvimento de computadores e seus componentes.

Ao longo do século XX, com a evidência da descontinuidade da matéria e seu desenvolvimento científico na física e na química para as aplicações tecnológicas, principalmente, militares, houve uma direta e aberta relação entre a ciência e o desenvolvimento econômico, industrial e militar (Bernal, 1969). O capitalismo já havia se estabelecido e tornado dominante no mundo, porém não se encontrava mais em seu auge, pelo contrário, estava na sua fase final, o imperialismo, causando graves crises econômicas (Bernal, 1969; Hobsbawm, 2007).

Esse século é marcado pelo conflito entre o capitalismo e o socialismo: o segundo surge das contradições do primeiro (Bernal, 1969). O próprio capitalismo engendra suas crises, de modo que a acumulação de capital privado não pode ser infinita para uma classe com meia dúzia de burgueses porque a outra grande parte, trabalhadora, definha em miséria: os recursos humanos e naturais são finitos. Com o trabalho cada vez mais explorado, o trabalhador, ou consumidor nesse sistema, não consegue consumir o que é produzido (Bernal, 1969). O capitalismo apresenta dificuldades econômicas e políticas perpassadas pelos interesses monopolistas, cada vez maiores de expansão, engolindo as empresas locais e menores e tornando o mercado cada vez mais globalizado, porém concentrado nas mãos, principalmente, dos Estados Unidos da América (EUA) e do norte europeu: a Primeira e a Segunda Guerra Mundial e a crise de 1929 foram consequências diretas dessas dificuldades, intrínsecas ao capitalismo (Bernal, 1969; Hobsbawm, 2007).

Os EUA, centro do capitalismo, e alguns países europeus, como a França e a Grã-Bretanha, grandes potências capitalistas da época, ao empenhar suas forças imperialistas para conter a expansão socialista, principalmente, russa, acaba levando ao surgimento das ditaduras nacionalistas, de extrema-direita, anticomunistas, primeiro, na Europa, com o fascismo italiano, depois com o nazismo alemão e a sua disseminação ao redor do mundo, especialmente, na América Latina (Bernal, 1969). As tensões entre o capitalismo e o socialismo, as guerras e as ditaduras provenientes delas vão estar diretamente vinculadas com a ciência, tanto entre as formas distintas de se fazer ciência em um ou outro sistema, quanto na tomada de consciência da ciência enquanto força produtiva (Bernal, 1969).

De acordo com Arceno (2010), a aplicação dos conhecimentos científicos na produção, pelo capitalismo, tem o objetivo de “reduzir o tempo de trabalho socialmente necessário incorporado aos produtos. [...] É, portanto, a avidez por

trabalho vivo excedente, que leva o capitalista a revolucionar a base tecnológica da sociedade" (ARCENO, 2010, p. 20-21). Nesse período, ocorreu uma rapidez no avanço tecnológico, com consequências construtivas - ao mesmo tempo que somente foram possíveis por estarem a serviço dos interesses militares - ou consequências muito destrutivas, como, as bombas atômicas lançadas pelos EUA sobre Hiroshima e Nagasaki em 1945 (Bernal, 1969). A produção das bombas atômicas, inclusive, só se tornou possível com o desenvolvimento do conhecimento sobre a estrutura atômica da matéria, de modo que ao se conhecer mais partículas subatômicas e as transformações que seriam possíveis de fazer com ela: como é o caso do bombardeamento de nêutrons em um núcleo pesado e instável, como urânio-235 ou plutônio-239, que reparte o núcleo em dois médios e libera grande quantidade de energia, suficiente para destruir cidades.

Diante do exposto, percebemos que os modelos atômicos foram influenciados pelas diferentes épocas em que foi colocado em discussão, tendo em alguns momentos a primazia do idealismo e em outros do materialismo, ambos com suas diferentes vertentes. Esses momentos proporcionaram um embate secular, quase milenar, da existência real ou não dos átomos, da sua materialidade.

5. PRINCIPAIS DISCUSSÕES DA FILOSOFIA DA QUÍMICA

Tendo observado uma certa centralidade da materialidade dos átomos no desenvolvimento histórico dos modelos atômicos, percebemos que há alguma relação com os debates da filosofia da química do século XX. Nas últimas décadas autores nacionais (Lemes; Porto, 2013; Labarca; Bejarano; Eichler, 2013; Ribeiro, 2014, 2017; SILVA *et al*, 2018) e internacionais (Baird; Scerri; Mcintyre, 2006; Scerri, 2008) têm se dedicado a sistematizar a constituição da área da filosofia da química em termos de criação de revistas científicas, organização de eventos acadêmicos, escrita de artigos, surgimento de linhas de pesquisa, explicitação das principais questões e autores contemporâneos, além da criação de sociedades científicas.

Esclarecemos que as discussões trazidas neste capítulo são com base nos autores supracitados e, portanto, não fizemos a leitura dos textos originais citados por eles, tanto por uma questão de limite de tempo para a pesquisa, quanto pelo nosso foco serem as discussões mais específicas sobre os modelos atômicos, as quais nos debruçamos no próximo capítulo. Como sinalizamos anteriormente, a ideia deste tópico é trazer um panorama das discussões da filosofia da química para o leitor se situar e localizar a nossa pesquisa na área.

5.1. A relação entre filosofia e química

Como apresentado na introdução, a filosofia da química é um campo que se constituiu, principalmente, a partir da década de 1990, tendo sido negligenciada pela filosofia da ciência até aproximadamente 1960: a filosofia da ciência priorizou tópicos relacionados à estatística, lógica matemática, teoria da relatividade e mecânica quântica devido ao modelo universal de conhecimento científico dominante baseado na matemática e na física (Scerri, 2008; Labarca; Bejarano; Eichler, 2013; Ribeiro, 2017; SILVA *et al*, 2018).

Alguns autores discutem sobre essa negligência entre filósofos e historiadores da química (Jesper Sjostrom, Joachim Schummer, Jaap van Brakel, Edward Francis Caldin, Bernadette Bensaude-Vincent), ao tratar sobre as especificidades da química: nessa ciência há uma proximidade maior com o pragmatismo e a tecnologia, com amparo na experimentação e na aplicação, fazendo um duplo trabalho (artesanal e acadêmico) que torna quase indissociável a relação entre a indústria e a ciência acadêmica, sendo negligenciada pela filosofia da ciência que estava centrada na valorização da formulação de teorias e modelos

universais (Ribeiro, 2014, 2017; SILVA *et al,* 2018). Como discutido por alguns filósofos de maior produção na área, como Joachim Schummer, a química, ao contrário do que a filosofia da ciência primava, apresenta uma metodologia plural, incluindo diversas metodologias, teorias e modelos a depender das complexidades de cada caso (Lemes; Porto, 2013).

Para apresentar um panorama da área e entender as temáticas atuais, é necessário também conhecer a origem das relações entre filosofia e química ao longo da constituição da química moderna, como explicitado por Ribeiro (2014, 2017). Existiram tentativas de estabelecer essa relação feitas por autores que tinham formação em uma dessas áreas ou ambas, como Kant, Von Lieibig, Ostwald, Mittasch, Paneth, Whewell, Mill, Peirce, Frege, Schelling, Hegel, Gaston Bachelard, Duhem, Meyerson, Engels, Kedrov, Paul Dirac, Joachim Schummer, Joseph Earley e Nikos Psarros (Ribeiro, 2014, 2017)[1].

De acordo com Ribeiro (2017), Kant teve grande influência sobre o debate entre filosofia e química, reverberando até o século XX: foi um explícito contrário ao atomismo, chegando a formular a ideia do éter na tentativa de suprir a lacuna que a química deixou em sua filosofia, pois a matemática não conseguia dar conta de toda química, mesmo com o sistema de Lavoisier - que explicitou uma relação quantitativa para os fenômenos químicos - ainda não era possível explicar os fenômenos a partir da matemática e da mecânica newtoniana. Químicos como Von Lieibig, Ostwald, Mittasch, Paneth, Whewell, Mill, Peirce e Frege foram influenciados por Kant e concordavam com a crítica ao atomismo e a necessidade da matemática ser uma das bases da ciência; no século XX, Paul Dirac, também por influência kantiana, defendeu a redução total da química à física (Ribeiro, 2017).

Schelling e Hegel, ainda que influenciados por Kant, porém fazendo a crítica a sua ciência pura, defendiam o status da química e como seus sistemas filosóficos da natureza não eram muito aceitos na época, não tiveram seus debates inseridos na filosofia da ciência: a filosofia da natureza de Hegel foi formulada com base na química, definindo o objeto químico (pertencente a todos os domínios do conhecimento, não apenas a química) como uma totalidade de relações entre as coisas (Ribeiro, 2017). Na França, até meados do século XX, com Bachelard, Meyerson, Duhem e outros, não houve negligência da química na filosofia da

[1] Na dissertação de Ribeiro (2014) há um quadro que mostra esses autores, as suas influências e principais questões colocadas no campo.

ciência, inclusive havia críticas à ciência pura de Kant (Ribeiro, 2017). Bachelard foi um dos principais filósofos da química que destinou duas obras para discutir a química (“O Pluralismo Coerente da Química Moderna” e “O Materialismo Racional”): o aspecto relacional dos conceitos, a multiplicidade de modelos e a incompatibilidade de princípios aplicados aos fenômenos eram algumas das características específicas da química, para Bachelard (Scerri, 2008; Ribeiro, 2017; SILVA *et al,* 2018).

Os países socialistas, Alemanha Oriental e União Soviética das Repúblicas Socialistas (URSS), durante a segunda metade do século XX, tiveram expressiva produção para a filosofia da química, embasados pelo materialismo dialético, que também foi negligenciada pela filosofia da ciência (Schummer, 2006; Ribeiro, 2017). Neste contexto, foram publicados diversos livros que apresentavam os problemas filosóficos da química e como deveriam discutir a química na perspectiva do materialismo dialético com o intuito de conciliar a filosofia, a ciência e a educação, pilares curriculares nesses países (Schummer, 2006; Ribeiro, 2017). Nesse período, a obra “Dialética da Natureza” de Engels foi uma das fontes principais para as exemplificações da dialética entre quantidade e qualidade presentes na química. Bonifaty Kedrov também foi um importante filósofo socialista da química que se opôs ao reducionismo, diferenciando os níveis de mudança dos movimentos entre: “nuclear e física; elétrica (átomos); química (dentro das moléculas); física-molecular (como um líquido); geológica (minerais)”, dos quais a essência de cada nível reside na interação entre os níveis inferiores (Ribeiro, 2017, p. 31).

5.2. A consolidação da filosofia da química enquanto área de pesquisa

Percebemos que, principalmente, durante os últimos dois séculos houve diversas tentativas de aproximar a filosofia à química e vice-versa, o que culminou na constituição da área da filosofia da química na década de 90. Segundo Ribeiro (2017), no pós-guerra, a imagem pública da química estava prejudicada devido aos desastres ambientais e humanitários, o que tornou necessário buscar relações com a área das humanidades para mudar esse legado: necessidade colocada pela indústria química. Neste contexto, em 1994 ocorreram encontros internacionais na Europa e na América do Norte para discutir a filosofia da química, seja com a inserção da área em sessões de eventos de filosofia da ciência ou com eventos específicos (Scerri, 2008).

Em 1997, foi criada a *International Society for the Philosophy of Chemistry* (ISPC) - composta por 145 membros de 28 países - e as primeiras revistas científicas da filosofia da química: *International Journal for Philosophy of Chemistry – HYLE*[2] (1995) e *Foundations of Chemistry* (1999), sendo a primeira europeia, editada por Joachim Schummer e com contribuições de países como Alemanha, França e Itália, e a segunda norte americana, editada por Eric Scerri e com contribuições dos EUA e Reino Unido (Baird; Scerri; Mcintyre, 2006; Scerri, 2008; Ribeiro, 2017; Silva *et al*, 2018).

Os autores pioneiros na constituição da área da filosofia da química foram: Jaap van Brakel, Hans P. W. Vermeeren, Joachim Schummer e Eric Scerri (Ribeiro, 2017). Nas últimas duas décadas, a filosofia da química também tem apresentado uma produção significativa na América Latina com os autores: Olimpia Lombardi, Martín Labarca, Agustín Aduriz Bravo, Rosária Justi, Marcos Ribeiro, Jackson Gois da Silva, Nelson Rui Ribas Bejarano e Waldimir Araújo-Neto (Silva *et al*, 2018). Em 2019, ocorreu a publicação do livro “Filosofia da Química no Brasil” organizado por Jackson Gois e Marcos Antônio Pinto Ribeiro; e no último ano, foi publicado o livro “Ensaios de história e filosofia da química” dos autores Luciana Zaterka e Ronei Clécio Mocellin, demonstrando o crescente interesse pela filosofia da química no Brasil.

Como apresentado por Baird, Scerri e McIntyre (2006), Scerri (2008), Lemes e Porto (2013) e Ribeiro (2017), desde sua constituição enquanto área de pesquisa, a filosofia da química tem se dedicado a discutir as especificidades da química perpassando pelo tema do reducionismo e apresentando a relação entre o pragmatismo e a construção de modelos, além de discutir sua abordagem metodológica plural com algumas características: a circularidade dos conceitos, os conceitos relacionais, a influência dos fatores contextuais na explicação dos fenômenos químicos, o pragmatismo químico, as teorias e modelos como ferramentas para a experimentação (síntese e análise química), a produção de novos objetos e não somente seu isolamento e a importância dos métodos instrumentais analíticos para o conhecimento químico.

A necessidade de relacionar a filosofia da química com a educação química tem sido uma das principais motivações para o desenvolvimento da área: há um

[2] A revista *HYLE* não aceita mais publicações, sua última edição foi em março de 2021 com a temática da união da filosofia da química com a filosofia da biologia.

distanciamento entre a prática química e o seu ensino que distorce as suas bases filosóficas e epistemológicas no processo educacional ao ser atualmente dogmático, conservador e dedutivo algorítmico (Lemes; Porto, 2013; Ribeiro, 2017). Ao contrário disso, a química é entendida pelos filósofos da química como “uma ciência criativa, indutiva, prática, histórica, relacional, diagramática, classificatória, um exemplo de ciência interdisciplinar e tecnocientífica” (Ribeiro, 2017, p. 21-22).

Importante ressaltar que mesmo com algumas ideias compartilhadas pelos filósofos da química, ainda não há consenso sobre qual a centralidade do conhecimento químico, apresentando questões que foram sistematizadas por Lemes e Porto (2013) por meio de uma revisão bibliográfica. Aqui serão utilizadas as mesmas categorias dos autores, apenas com o objetivo de organizar o cruzamento de dados com os outros artigos que tratam dessas mesmas temáticas: o reducionismo da química à física; a ética; a imagem pública da química; a estética; as leis e os modelos; o realismo e antirrealismo.

5.3. As questões mais debatidas pela área atualmente

O reducionismo da química à física é um dos temas de maior debate na filosofia da química e, por isso, apresenta maior maturidade e estabilidade, além de contribuir para o entendimento da posição marginalizada que a química assumiu na filosofia da ciência (Baird; Scerri; Mcintyre, 2006; Scerri, 2008; Lemes; Porto, 2013; Ribeiro, 2017; Silva *et al*, 2018). Com o advento da mecânica quântica, as discussões sobre o reducionismo foram tensionadas e podemos resumir pelas seguintes questões: Em que medida a química é subordinada à física? Os fenômenos químicos poderiam ser explicados por conceitos físicos? A maioria dos filósofos da química tendem a discordar do reducionismo, sendo um tema perpassado por vários trabalhos da área, mesmo quando não é o foco das pesquisas, sendo discutido, principalmente, pelos autores: Eric Scerri, Joachim Schummer, Martín Labarca, Olimpia Lombardi, Klaus Mainzer e Luigi Cerruti (Silva *et al*, 2018; Lemes; Porto, 2013). De modo geral, as discussões sobre o reducionismo são relacionadas à influência da física na negligência da química pela filosofia da ciência, sua suposta validade no nível micro (estruturas moleculares, orbitais atômicos, ligação química e tabela periódica), às diferenças entre os objetos da física e da química, ao isolamento de objetos na física, à necessária relação entre os

objetos na química, ao pluralismo ontológico da química e sua base realista (Lemes; Porto, 2013; Silva *et al*, 2018).

A temática da ética, ao contrário do reducionismo, é uma das poucas exploradas pelos filósofos da química, necessitando de mais investigações e aprofundamentos. Ainda assim, autores como Joachim Schummer, Claus Jacob, Adam Walters, e Jeffrey Kovac se dedicaram, em algumas de suas produções a discutir, respectivamente, sobre os problemas éticos e morais gerados pela produção de armas químicas e acidentes ambientais, pela síntese de novas substâncias químicas e pela privatização do conhecimento químico na produção de patentes, fruto da cooperação entre a indústria química e a química acadêmica (Lemes; Porto, 2013).

Com certa proximidade com essa temática, a imagem pública da química também tem sido objeto de discussão desde o início da consolidação da filosofia da química, como apresentado anteriormente, foi uma das motivações para a aproximação da química com as humanidades no pós-guerras do século XX. Autores como Marcel C. LaFollette, Pierre Laszlo e Jesper Sjostrom investigaram, respectivamente, a manifestação de valores sobre a química por agências de notícias, a mudança da investigação teórica e prática da química no contexto militar com implicações negativas para sua imagem e o discurso da química (Lemes; Porto, 2013).

A estética é outra questão abordada pelos filósofos da química, tanto pela atratividade estética dos modelos moleculares se aproximar de objetos comuns, quanto pelo interesse de pesquisa e da sociedade por outros aspectos estéticos das substâncias como cores, formas, sabor e cheiro: autores como Umberto Eco, Joachim Schummer, Robert Root Bernstein, Tami I. Spector e Pierre Laszlo tem produções neste sentido (Lemes; Porto, 2013).

As leis e os modelos são temas centrais para a filosofia da química, visto que são elaborados e usados de formas distintas para a química e para a física, e neste sentido, tem sido essencial para diferenciar essas duas ciências e delimitar a especificidade da química com relação à física, evitando o reducionismo. Algumas das principais discussões têm se relacionado a/ao: natureza das leis químicas, preferência dos modelos ao invés de leis na química, modelos químicos enquanto ferramentas de intervenção e transformação do mundo, utilização de diversas fórmulas estruturais para a mesma propriedade, uso de modelos qualitativos para

embasar as explicações químicas e modelos enquanto materialização dos resultados obtidos pela instrumentação (Lemes; Porto, 2013; Ribeiro, 2014; Silva *et al*, 2018). Autores que têm discutido essas temáticas são: Rein Vihalemm, Jeffry L. Ramsey, Michael Weisberg e Eric Francoeur. Como o objeto da presente pesquisa são os modelos atômicos, esses trabalhos e discussões podem ter relevância para as análises que serão apresentadas no próximo capítulo, além de terem relação com outro debate polêmico da filosofia da química e que pretendemos tensionar com as bases do materialismo dialético: o realismo na química.

O debate sobre o realismo na química apresenta algumas tendências e controvérsias. Segundo Lemes e Porto (2013), autores como Bernadette Bensaud-Vincent e Giuseppe Del Re apresentam semelhanças, respectivamente: a primeira defende que o pensamento químico estaria mais próximo de um realismo operativo, o qual não teria a intenção da explicação última da realidade, mas possibilitaria a sua representação, de forma que os conceitos químicos não seriam noções explicativas da realidade, mas instrumentos para agir sobre ou criar os fenômenos, no sentido de uma epistemologia do “aprender fazendo”; e o segundo defende que as medições experimentais possibilitaram um maior nível de acesso ao objeto da química e uma maior confiança nos resultados, com a influência de analogias e modelos que são formas de representar as coisas do mundo real como verdades limitadas.

Por outro lado, Pierre Laszlo, Jacopo Tomasi, Roald Hoffmann, Robert J. Good e Rein Vihalemm, respectivamente, discutem sobre: 1. os instrumentos de medição terem influência no realismo ingênuo do químico, levando a desmaterialização do conhecimento químico, o distanciando da realidade ao utilizar entes microscópicos idealizados ao invés das percepções imediatas (cor, textura, volatilidade, etc), e a destemporalização (os objetos químicos são entendidos como estáticos e rígidos, independente do contexto de medição); 2. a adição das evidências experimentais para compreender as estruturas moleculares proporcionou a mudança de modelos simbólicos para modelos icônicos, em um movimento de aproximação com o real; 3. a correspondência entre a previsão da formação de uma estrutura molecular e a confirmação da sua obtenção por evidências experimentais reforça o realismo do químico; 4. consenso entre os químicos sobre a existência dos átomos se deu antes do que entre físicos e desde então, há um empenho do pensamento químico a partir de átomos; 5. o realismo do químico é o prático, não o

ingênuo, de forma que a prática experimental intervém no mundo real, manipulando e transformando-o, sendo direcionada pelas teorias e normatizações, ou seja, o resultado da prática científica química é um aspecto do mundo real (Lemes; Porto, 2013). Reconhecemos que essa discussão do realismo tem outras dimensões no campo da filosofia em geral e na filosofia da química, mas neste trabalho vamos nos concentrar na concepção marxista de realismo[3].

Presenciamos até aqui algumas das discussões sobre o realismo na química, mas uma delas nos chamou mais atenção devido a relação que tem com a história da ciência, em especial da química, e com esta pesquisa: os átomos existem de fato? Seriam os modelos atômicos nada mais do que ferramentas teóricas para a prática química ou representações construídas pelos seres humanos sem necessariamente ter alguma relação com o real? Em última análise, o que seria a realidade? Como podemos afirmar que tal conhecimento científico corresponde a aspectos da realidade tal como ela é? Quais são os critérios?

5.4. Os átomos e a filosofia da química

Por mais que hoje pareça, à primeira vista para um químico, insensato pensar se os átomos existem ou não, já que é uma das bases para o conhecimento químico e a transformação da matéria, há ainda controvérsias e isso tem um histórico, principalmente, na constituição da química moderna e contemporânea. Nas questões colocadas no final do capítulo anterior, faz-se necessária uma base filosófica para respondê-las. Inclusive, para formulá-las, partimos de uma base filosófica: o materialismo dialético. Podemos aqui fazer algumas primeiras aproximações dessa filosofia com a discussão sobre o realismo na filosofia da química no sentido de buscar relações entre o materialismo e a existência ou não dos átomos.

Como analisamos anteriormente com mais detalhes no capítulo histórico, o debate sobre a existência dos átomos é antigo: anterior à constituição da química moderna, desde a Grécia Antiga e retomada com a Revolução Científica. É uma temática que tem seu nascimento com os materialistas metafísicos: Leucipo, Demócrito, Epicuro e Lucrécio, que foram alguns dos principais atomistas e tiveram

[3] Vihalemm (2010) cita a variedade de realismos presentes na filosofia da ciência: realismo científico, histórico epistemológico, realismo não representativo, realismo experimental, realismo referencial, realismo construtivista e o realismo prático. O mais próximo da concepção marxista é o realismo científico.

suas ideias esquecidas durante o desenvolvimento da alquimia na Idade Média – que se embasou principalmente nas ideias platônicas e aristotélicas sobre a constituição do mundo, entendendo a matéria como homogênea, não particularizada (no sentido de partículas mesmo), composta por alguns elementos, quatro, que poderiam se combinar ou transmutar uns nos outros, e formar todas as coisas do mundo, tais combinações/transmutações seriam determinadas por uma força exterior, divina.

As filosofias atomistas tinham um direcionamento ateísta, pois acreditavam, ainda que de forma rudimentar, que a própria matéria ao ser decomposta em milhares de partículas indivisíveis determinaria o funcionamento do mundo pelas suas próprias partes, sem a presença de uma força divina, o que foi um fator significativo para sua negligência por tantos séculos. Assim, se criou uma polêmica entre atomistas e anti-atomistas: seria a matéria contínua ou descontínua? Atomizada ou plena? Divisível ou indivisível? Determinada por uma força externa ou por si mesma?

Somente no século XIX, com o avanço da química experimental, industrial e quantitativa, que se pôde obter algumas evidências sobre a possibilidade dos átomos não serem somente uma idealização filosófica, mas materialidade e portanto, existentes na realidade. Como podemos perceber na constituição da filosofia da química, Kant, outros filósofos e cientistas críticos ao atomismo, chegaram a formular a ideia do éter para afastar as especulações atomísticas da esfera científica.

A polêmica da existência dos átomos se estendeu até o século XX quando começaram a aparecer as primeiras evidências científicas. Ainda hoje, temos esse debate presente na filosofia da química, como verificamos em uma busca de artigos com as palavras-chave “teoria atômica” ou “modelos atômicos”, em inglês e português, nas revistas *Hyle* e *Foundations of Chemistry*, na compilação de referências bibliográficas da filosofia da química criada pelo Scerri (1997) e bancos de dados nacionais (Portal de Periódicos CAPES) e internacionais (Scielo, Web of Science).

Obtivemos, até dezembro de 2022, o total de 15 artigos com alguma discussão filosófica ou histórica sobre os modelos atômicos ou a teoria atômica (termos-chave da busca). Na leitura desses 15 artigos é possível perceber explicitamente que a maioria, senão todos, tem alguma discussão relacionada à

existência real dos átomos ou sobre o realismo em suas variadas vertentes (científico, operativo, ingênuo), como consta na descrição de cada artigo presente no subtópico a seguir. Porém, somente 9 desses artigos (5 filosóficos e 4 históricos) foram selecionados para análise, pois tem uma centralidade na discussão sobre a realidade dos átomos. Os artigos excluídos não apresentavam discussões relacionadas a esse recorte, sendo apenas citados de maneira isolada e pontual ou como exemplos, sem aprofundamento específico sobre eles ou relação significativa com o conteúdo analítico dos artigos. Aqui delimitamos o nosso acervo de análise, como proposto por Martins e Lavoura (2018).

Considerando que esse tema emergiu da revisão bibliográfica e do estudo do desenvolvimento histórico dos modelos atômicos, decidimos contribuir com esse debate em uma perspectiva materialista dialética com o propósito de compreender em que medida essa filosofia se aproxima ou se afasta dessas correntes do realismo e, principalmente, se e como a teoria atômica ou os modelos atômicos pode ter alguma relação com o materialismo para o avanço do conhecimento químico.

Os procedimentos de análise se deram da seguinte forma: ao iniciar a leitura aprofundada dos artigos, foram feitos destaques em trechos que apresentavam alguma relação com a materialidade dos átomos, seus aspectos ontológicos e epistemológicos, ou seja, sua relação com a realidade e o conhecimento científico; em um segundo momento, os referenciais teóricos foram consultados para auxiliar na identificação das bases filosóficas presentes em cada artigo, além de explicitar possíveis aproximações e distanciamentos com o materialismo dialético; e por fim, no terceiro momento, para a exposição da análise no formato de texto, foram agrupados e ordenados pelas suas bases filosóficas, visando a classificação entre as vertentes do idealismo e do materialismo.

Os referenciais teóricos que me embasei para fazer a análise foram: Engels (2015, 2020), Lénine (1982), Cheptulin (1982) e Valero *et al* (2022). Esses referenciais, cada um com suas especificidades, nos auxiliam a compreender como o desenvolvimento das ciências da natureza proporcionaram uma aproximação materialista com a realidade, de modo que, diante de vários exemplos dados pelos autores, inclusive de química, comprovam a existência do mundo independente do ser humano e da presença da dialética na própria natureza e nas ciências. Tal exposição está apresentada no próximo capítulo. Antes, apresentamos uma breve descrição de cada um dos artigos.

5.4.1. Descrição dos trabalhos históricos e filosóficos sobre modelos atômicos

Nesta subseção, dividimos a descrição dos artigos que resultaram da revisão bibliográfica (Viana; Porto, 2007; Usselman; Leaist; Watson, 2008; Schneider; Krause, 2014; Usselman; Brown, 2015; Agostini; Silveira; Polla, 2021; Kragh, 2001; Rocke, 1978) daqueles que foram selecionados para análise: os filosóficos (Ramberg, 2000; Aboites; Aboites, 2018; Canales; Diáz; Aboites, 2019; Kedrov, 1949; Shahbazian, 2013) e os históricos (Chagas, 2003; Chagas, 2011; Patterson, 2010; Nye, 1976). Apresentamos primeiramente as descrições dos artigos que não foram analisados com o intuito de que os leitores tenham uma ideia geral do seu conteúdo, e caso tenham interesse, possam fazer a leitura na íntegra.

Viana e Porto (2007) descrevem o processo de elaboração da teoria atômica quantitativa de Dalton abordando: a influência dos seus estudos meteorológicos, da solubilidade dos gases atmosféricos e do corpuscularismo newtoniano; a formulação de experimentos que levassem à confirmação da hipótese atômica chegando a lei das misturas gasosas, a lei das proporções múltiplas, a lei das pressões parciais, a regra da máxima simplicidade na combinação dos átomos, a lei de Henry e por fim, a determinação das massas atômicas relativas.

Usselman, Leaist e Watson (2008) apresentam as controvérsias na história da ciência em torno dos resultados experimentais obtidos por Dalton no seu estudo sobre a solubilidade dos gases em água, em específico da combinação química de gás nitroso (NO) com gás oxigênio (O2), para embasar sua hipótese atômica, obtendo proporções integrais de combinação entre as partículas (2:1). Outros químicos não conseguiram reproduzir os experimentos de Dalton de forma a obter os mesmos resultados, o que levou a suspeitar de fraude por parte de Dalton para obter o que desejava: dados experimentais que sustentam sua teoria atômica. Os autores do artigo se propõem a reproduzir os experimentos, tanto em softwares quanto em laboratório, explorando o conteúdo moderno de reações químicas, no qual se destaca as reações de equilíbrio químico para concluir que Dalton tinha em mente a teoria atômica e selecionou as condições termodinâmicas para obter a proporção que havia teorizado (2:1), mas não fraudou, pois parte dos seus experimentos estava correto e os erros cometidos na outra parte não foram intencionais.

Schneider e Krause (2014) fazem um debate filosófico sobre o fato dos átomos, moléculas, prótons, elétrons, etc, entidades quânticas serem indiscerníveis, ou seja, são unidades que pertencem a um tipo, mas não se diferenciam, pois independe de qual átomo ou qual molécula específica está presente na reação, por exemplo a água, é uma molécula composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio de modo que se, hipoteticamente, algum desses átomos fossem substituídos por outros de hidrogênio e oxigênio, não se altera em nada o resultado final. Assim, essas entidades quânticas que compõem um conjunto não se distinguem individualmente, o que na teoria dos conjuntos clássica da matemática, o indivíduo que compõe um conjunto é distinto dos outros componentes deste mesmo conjunto. Assim, se esse conjunto tiver pelo menos dois elementos, necessariamente eles se distinguem e sua substituição resultam em algo diferente qualitativamente. Dessa forma, os autores propõem alterar a sustentação matemática de conjuntos da química, substituindo a clássica pela dos quase-conjuntos. No restante do artigo, os autores explicam essa teoria dos quase-conjuntos e como ela se propõe a representar esquematicamente as entidades quânticas, levando em conta que são indiscerníveis.

Usselman e Brown (2015) procuram evidenciar que tanto Dalton como Thomson foram influenciados pela hipótese atômica para obter os seus resultados experimentais de forma precipitada, não replicável e tornando questionável a validade da teoria atômica, tal qual eles defendiam com esses experimentos ao demonstrar a proporção múltipla na combinação átomo a átomo. Ao contrário de Dalton e Thomson, Wollaston desconhecia a hipótese atômica e obteve resultados experimentais com precisão bem próximas a da química moderna, replicáveis e com procedimento analítico simples, que obtinham proporções integrais entre os ácidos e bases de sais oxálicos. Ao tomar conhecimento da hipótese atômica de Dalton, Wollaston logo passou a defendê-la com base nos seus experimentos, colocando o debate da teoria atômica como central para os químicos no século XIX.

Agostini, Silveira e Polla (2021) traçam um paralelo entre a ciência moderna e a filosofia antiga pré-socrática, tratando primeiro sobre as aproximações do atomismo de Leucipo e Demócrito com a Teoria Atômica Moderna, através dos conceitos de Kosmos e cosmologia, e depois sobre as teorias da origem da vida a partir dos conceitos de psique pré-socráticos.

Kragh (2001) discute sobre os modelos atômicos que precederam Bohr na tentativa de explicar o sistema periódico e tiveram importantes contribuições que anteciparam a teoria e atualmente aceita. O mais discutido é o modelo atômico de J. J. Thomson. Seu modelo e concepção de elétron se deve a tradição anterior na química: a química do vórtice. Entre 1870 e 1880 a teoria atômica do vórtice atraiu especialmente dos físicos matemáticos britânicos pelas características unitárias da teoria e seus desafios matemáticos.

Rocke (1978, p. 225) sugere que a ambivalência teórica da química moderna (o fato de todos os químicos utilizarem a teoria atômica, porém uma parcela considerável a usava com desconfiança) não se dava por questões científicas, metafísicas ou substantivas, mas pela incapacidade de definir os termos certos, ou seja, dificuldades semânticas. Se concentrando nas metodologias e semânticas, Rocke (1978) com base nos dois tipos de atomismo no século XIX que se relacionavam (1. teoria atômica química que era base conceitual dos pesos elementares relativos e das fórmulas moleculares; 2. teoria atômica física que tratava da natureza mecânica das substâncias), dá ênfase aos anos de 1810-1814, momento crítico com crescimento dos estudos na teoria química. Rocke (1978) traz a base conceitual do atomismo químico ao abordar a lei das proporções equivalentes que foi desenvolvida com estudos estequiométricos dos químicos: Richter, Davy e Wollaston. Rocke (1978) discute o caminho da constituição da teoria atômica de Dalton por meio das modificações empíricas que propôs aos estudos estequiométricos.

Iniciamos aqui as descrições dos artigos que foram analisados no capítulo seguinte, os cinco filosóficos e os quatro históricos.

Ramberg (2000) analisa os diversos modelos, tanto físicos como simbólicos, que tiveram relevância na história da estereoquímica e que originaram debates a respeito da natureza dos átomos, da sua afinidade e da sua valência, com proposições distantes da física, mas pragmáticas, que foram úteis quimicamente.

Aboites e Aboites (2018) buscam criticar o realismo e substituí-lo pelo instrumentalismo, apresentando suas diferenças, na tentativa de responder a pergunta “como sabemos que os átomos existem?” e tomando por base os argumentos de W. T. Stace, um filósofo empirista e anti realista que considera as teorias científicas como produtos da mente humana, sem qualquer existência real. Para ele, somente é real aquilo que pode ser captado pelas sensações humanas.

Assim, também argumenta para os átomos, entendidos por ele como entidades teóricas, que não são perceptíveis pelas sensações humanas, e portanto, não se pode considerar que existam átomos materialmente, como fazem os realistas. Com base nisso, o autor pretende rebater as provas e argumentos historicamente mais relevantes dados pelos realistas de que os átomos existem: 1) a lei das proporções definidas ou lei de Proust; 2) Teoria cinética dos gases; 3) Movimento Browniano; 4) Imagens de microscópio de efeito túnel (Aboites; Aboites, 2018).

Canales, Diáz e Aboites (2019) produzem um artigo semelhante ao anterior com modificações significativas na parte introdutória ao ampliar a compreensão sobre o realismo, os apoios e as críticas a essa filosofia. Em seguida apresentam as provas e argumentos apresentados pelos realistas para afirmar que os átomos existem, tal como o artigo anterior (Canales; Diáz; Aboites, 2019).

Kedrov (1949) pretende mostrar a relevância filosófica da teoria atômica de Dalton, sendo uma das mais importantes da história da ciência, de modo que o autor argumenta que: os conceitos posteriores da química e física (molécula, valência, íons, relações periódicas dos elementos, noções de estrutura e partículas elementares, etc) são diretamente ligados à concepção básica de átomo, derivando dela e constituindo ela; possibilitou o pensamento teórico na química, que anteriormente se embasava apenas em generalizações empíricas; reforçou as posições materialistas nas ciências da natureza ao apoiar que os átomos são partículas materialmente existentes pelas descobertas experimentais confirmadas de Dalton; a dialética foi introduzida na química com a lei das proporções múltiplas e a consequente eliminação da dicotomia entre compostos orgânicos e inorgânicos.

O artigo de Shahbazian (2013) é uma carta ao editor da revista "*Foundations of Chemistry*" buscando responder se realmente existem átomos nas moléculas (Shahbazian, 2013). Shahbazian (2013) apresenta que há uma dificuldade atual dos químicos e físicos de afirmar a realidade dos átomos em moléculas, discute sobre o mito da observação direta, sobre as teorias fenomenológicas, e por fim, busca demonstrar a importância da abordagem realista na relação entre a química e a mecânica quântica. Ao final do artigo, fundamentando-se na ciência normal de Kuhn, Shahbazian (2013) defende a abordagem realista da teoria quântica dos AIM, pois possibilita a construção de uma comunidade para vincular e racionalizar regularidades dispersas observadas nos AIM. Deste modo, o autor espera que a

longo prazo ocorra uma unificação da química teórica, em que coexista a mecânica quântica e a química (Shahbazian, 2013).

Chagas (2003, p. 1) faz parte da seção de “História da Química” da revista QNESC que pretende contemplar “a história da química como parte da história da ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído”. De modo geral, o autor traz a importância da obra de Jean Perrin para a evidência da existência dos átomos e moléculas na realidade. O autor traz as controvérsias do século XIX que questionavam essa existência e a utilidade das teorias atômicas para a química por ainda não se ter evidências experimentais ou teóricas para as explicações microscópicas. No entanto, também havia uma grande dificuldade em explicar o movimento browniano pelas explicações macroscópicas. Chagas (2011) é um artigo semelhante ao de Chagas (2003), com algumas informações complementares.

No mesmo sentido, Patterson (2010) pretende mostrar a história dos antecedentes, o desenvolvimento, a publicação, o conteúdo e a resposta ao livro "Les Atomes", de Jean Perrin. Para o autor, a obra foi publicada após um embate secular entre o tamanho e a realidade física dos átomos e conseguiu convencer químicos e físicos que átomos e moléculas são objetos físicos reais.

Nye (1976) discute sobre o embate que teve entre atomistas e anti-atomistas no século XIX levando em consideração que a crise da física na viragem para o século XX não foi somente de evidência e interpretação dos resultados, mas de metodologia científica e epistemologia: o que estava em jogo não era a teoria atômica, mas a estrutura da própria física.

Com as descrições dos artigos que discutem os modelos atômicos na filosofia da química, podemos seguir para as análises, buscando encontrar respostas para as questões ontológicas e epistemológicas envolvidas: qual a concepção de realidade expressa pelos autores e como essa concepção se vincula ao conhecimento científico e, em específico, aos modelos atômicos? Os átomos são reais ou apenas entidades teóricas ou ferramentas teóricas para a prática química – no sentido do realismo operativo? Seriam os modelos atômicos nada mais do que representações construídas pelos seres humanos sem necessariamente ter alguma relação com o real?

6. ASPECTOS FILOSÓFICOS DA MATERIALIDADE DOS ÁTOMOS

Tentamos aqui dar clareza sobre como o embate entre materialismo e idealismo aparece na temática dos modelos atômicos ao responder a questão: qual a base filosófica que se sustenta, materialista ou idealista? A intenção é trazer às claras as bases filosóficas dos modelos atômicos, que tomaram distintas formas ao longo da história entre os químicos e físicos. Assim, podemos tensioná-las com as bases materialistas dialéticas, buscando aproximações e distanciamentos. Importante ressaltar que os modelos atômicos são um conteúdo de interface entre a química e a física e portanto, obtivemos resultados tanto de químicos quanto de físicos.

Conforme relatamos anteriormente, na leitura dos artigos da filosofia da química, percebemos que a discussão se os átomos são reais ou não parecia ser atualmente uma controvérsia; no mesmo sentido, Shahbazian (2013, p. 77 - tradução própria) discute que na literatura teórica tanto da química quanto da física é apresentado um receio quanto a realidade dos átomos nas moléculas (tradução para o inglês: *atoms in molecule*, abreviado pelo autor como AIM e incorporado por nós no texto): alguns cientistas se posicionam na defesa do instrumentalismo, em que essas partículas são apenas “ideias convenientes, instrumentos úteis para explicar, prever e controlar as nossas experiências”; outros afirmam que apesar da utilidade dos átomos, não é possível observá-los nas moléculas, sendo apenas um objeto de intuição intelectual; há também os realistas, que se contrapõem e defendem os AIM como entidades reais. Seguimos para a exposição das análises e todos esses posicionamentos são encontrados de alguma forma.

6.1. Análise materialista histórico-dialética da materialidade dos átomos na filosofia da química

Os primeiros artigos que expomos a análise são de Aboites e Aboites (2018) e Canales, Díaz e Aboites (2019). O primeiro autor, presente em ambos os artigos, Vicente Aboites, é físico e membro do Institute of Physics, Reino Unido; suas áreas de pesquisa são: Lasers, Dinâmica de Sistemas e Optoeletrônica; tem interesse em Filosofia da Ciência (Aboites, 2023). O segundo autor, Gilberto Aboites, é sociólogo, trabalha na Universidad Autónoma de Coahuila em Saltillo, no México (Aboites, 2023). Já os autores do outro artigo são: Carlos Fernando Gutérrez Canales é físico,

mestre pelo Departamento de Astronomia da Universidad de Guanajuato (México) e revisor na Revista Mexicana de Física; e Octavio Obregón Díaz é um físico mexicano renomado, formado em licenciatura em física, se especializou no estudo e investigação da gravitação, astrofísica relativística, supergravitação, teoria de campo e teoria das cordas; trabalhou com o Stephen Hawking em estudos sobre as aplicações da supergravidade na cosmologia quântica; membro do Conselho Consultivo de Ciências da Presidência da República do México (Canales, 2023; DÍAZ, 2023).

Aboites e Aboites (2018) e Canales, Díaz e Aboites (2019) buscam criticar o realismo e defender o instrumentalismo, apresentando suas diferenças na tentativa de responder à pergunta “como sabemos que os átomos existem?”. Respectivamente, o primeiro artigo toma por base os argumentos de W. T. Stace (1886-1967), um filósofo britânico empirista e antirrealista que afirma existir somente sensações e considera as teorias científicas como produtos da mente humana; o segundo se especializa em discutir sobre o realismo científico, mostra as diferenças com o instrumentalismo (“contraste antirrealista do realismo científico”), apresenta o apoio que é dado pelos realistas científicos à “hipótese atômica” e a defesa de um antirrealismo científico (Díaz; Canales; Aboites, 2019, p. 86). Os dois artigos são semelhantes, com alguns trechos, inclusive, iguais.

Para ambos os artigos, somente é real aquilo que pode ser captado pelas sensações humanas. Os átomos, entendidos por eles como entidades teóricas, não são perceptíveis pelas sensações humanas, e portanto, não se pode considerar que existam átomos materialmente, como fazem os realistas. Com base nisso, os autores pretendem apresentar as provas e argumentos historicamente mais relevantes dados pelos realistas de que os átomos existem (1. a lei das proporções definidas ou lei de Proust; 2. Teoria cinética dos gases; 3. Movimento Browniano; 4. Imagens de microscópio de efeito túnel) e demonstrar que essas provas na verdade não dizem respeito a existência dos átomos, mas da correspondência da teoria atômica com experimentos que buscavam a comprovação da própria hipótese atômica.

Nestas breves descrições dos artigos podemos perceber que os autores ao negarem que os átomos têm alguma base material, sendo apenas entidades teóricas que somente correspondem às elaborações mentais humanas, se colocam em posição oposta ao materialismo no seu aspecto ontológico, aí denominado de

realismo: Aboites e Aboites (2018) iniciam o texto em posição contrária à teoria do conhecimento materialista, que considera a existência do mundo exterior independente dos seres humanos, da consciência, das sensações. Prossegue discutindo: como podemos saber que os átomos, nêutrons, prótons e elétrons existem? Por inferência causal de coisas percebidas diretamente: essas entidades atômicas afetam os organismos “de alguma forma” para perceberem “o mundo cotidiano de mesas, cadeiras, etc”, se embasando nos argumentos de Stace, seu referencial teórico (Aboites; Aboites, 2018, p. 189). Para os autores, a lei da causalidade só pode inferir validamente no mundo da percepção, dos sentidos: a causa (A) e o efeito (B) geram uma sequência de causalidade (AB) que só pode ser identificada entre objetos sensíveis e perceptíveis. Os átomos não são perceptíveis, portanto, não podem ser inferidos validamente pela causalidade e não podemos afirmar que existem. De acordo com os autores, em sua forma científica, a teoria atômica é estabelecida por formulações matemáticas, e por isso, se constitui de fórmulas simples aplicadas aos cálculos, tal como a gravitação: uma relação entre fórmulas matemáticas e os fatos, permitindo o cálculo pelos matemáticos.

Os autores caracterizam os realistas como aqueles que afirmam que as teorias científicas correspondem a realidade, exemplificando com as partículas da teoria cinética, que não seriam “ficções teóricas úteis”, mas realmente existentes para os realistas (Aboites; Aboites, 2018; Díaz; Canales; Aboites, 2019). Como indicado, essa é uma posição que não faz sentido aos autores, então, propõem uma abordagem alternativa, chamada instrumentalismo. Essa abordagem considera que o importante não é saber se as entidades teóricas existem ou não, mas se descrevem de forma correta ou não o mundo observável. Perceba que são as teorias que descrevem o mundo observável: as ideias descrevem as sensações, pois segundo os autores apenas podemos inferir sobre o que é observável. Assim, temos o instrumentalismo como a manifestação epistemológica do idealismo subjetivo apresentado pelos autores para debater a existência dos átomos.

Percebemos que a posição filosófica dos autores e do seu referencial é o idealismo subjetivo, com algumas características solipsistas: Lénine (1982) ao fazer a crítica ao materialismo revisionista que surgia na Rússia no início do século XX, nos dá clareza sobre o significado de idealismo, de subjetivo e de solipsismo. Primeiro, quem determina a existência das coisas é a mente humana - é idealismo. Em segundo, assume que não existe um mundo exterior, independente do homem –

é subjetivismo. Em terceiro, só existem sensações, nada mais – é solipsismo. As sensações assumem um papel central no conhecimento da realidade: somente por elas são conhecidas as leis de causalidade e, portanto, somente na relação entre as sensações é possível inferir sobre a validade do conhecimento. O sujeito é primeiro, dele partem as teorias que explicam o mundo das sensações: essas teorias são meras ficções úteis e, portanto, foram construídas pela mente humana (Aboites; Aboites, 2018). Os idealistas não falham ao assumir a importância das sensações para o conhecimento da realidade, no entanto, erram ao inverter o processo ao qual verdadeiramente ocorre.

Na verdade, de acordo com Lénine (1982) as sensações são a conexão direta da consciência com a realidade objetiva; as sensações são cópias, reflexos dos objetos. Aqui o objeto é primeiro, refletido na consciência humana pelas sensações. Portanto, para o materialismo dialético, os átomos existem na realidade, foram refletidos pela consciência humana, ainda que não de forma direta pelas sensações, e nem de forma integral. O conhecimento científico é historicamente determinado e reflete o objeto nessas condições determinadas, sejam teóricas ou experimentais; portanto, sempre está em constante movimento, com verdades relativamente absolutas; não é possível compreender todo complexo de múltiplas determinações do objeto de forma acabada, isso não se sustenta na realidade objetiva e no seu movimento dialético (Engels, 2015; Valero *et al.*, 2022). Podemos considerar que, em certa medida, a continuidade e a descontinuidade da matéria podem ser percebidas na realidade de forma direta pelas sensações, mesmo em outra escala: a areia da praia vista de longe parece uma grande extensão contínua e ao se aproximar são inumeráveis cristais minúsculos de dióxido de silício. Por que não haveríamos de refletir sobre a descontinuidade das coisas contínuas da realidade e extrapolar para escalas que não consigamos diferenciar sensivelmente, como a atômica?

Não só se especulou, como se comprovou a descontinuidade atômica e foi apresentado pelos próprios autores, com base no instrumentalismo, as provas e os argumentos que apoiam a tese realista da existência real dos átomos. Em geral, para eles (Aboites; Aboites, 2018; Canalez; Díaz; Aboites, 2019) essas provas partiram da hipótese atômica e, portanto, provam apenas a correspondência das “ficções úteis” criadas pela mente humana com experimentos pensados para comprovar essa teoria. No entanto, ao mesmo tempo, os autores não negam a

possibilidade de os átomos existirem, mas também não podem confirmar; como não podemos vê-los, são entidades teóricas úteis, nada mais. Reside aí um certo agnosticismo, também evidenciado por Lénine (1982) nessas tendências idealistas subjetivas de sua época: a artimanha idealista dos autores é a de não negar a existência real das coisas, pois seria um absurdo perante o senso comum, mas também não afirmar com convicção, como fazem os realistas. Ou seja, para não serem “acusados” de negar o que o próprio senso comum sabe pela experiência - as coisas existem independente do ser humano-, se propõem a rebater apenas os filósofos que defendem isso.

Inicialmente, percebemos que como os físicos do século XIX e XX, ainda há físicos que negam a existência dos átomos por se tratar apenas de especulações filosóficas, sem materialidade. Uma das argumentações de Aboites e Aboites (2018, p. 202) é o caso do calórico proposto por Lavoisier, que não existe, e “confirma que havia possibilidades teóricas desconhecidas, não concebidas por ele e pelos cientistas de sua época”, desta forma, “existe a possibilidade lógica de que propostas teóricas não concebidas expliquem resultados observacionais atuais sem exigir a hipótese atômica”. No entanto, os autores desconsideram que essa mutabilidade do conhecimento é uma característica essencial da investigação científica e imprescindível para a compreensão das múltiplas determinações da realidade, que não são observáveis na aparência, mas podemos inferir sua validade na prática. Tal prática é determinada historicamente.

Para o materialismo histórico e dialético, a prática é o critério da verdade, e a prática é constituída objetiva e subjetivamente pelos seres humanos. Se conseguimos mostrar evidências na prática de que somente a existência dos átomos pode corresponder aos resultados experimentais obtidos, por diferentes caminhos – como feito por Jean Perrin - não temos por que ter medo de afirmar sua existência. Descobrimos no início do século XX a existência de partículas subatômicas, mas o átomo não deixou de existir, apenas nos aproximamos mais da sua concretude: entendemos que são partículas divisíveis, mas ainda são átomos. Tal como discutido por Lénine (1982, p. 213):

> A destrutibilidade do átomo, a sua inesgotabilidade, a mutabilidade de todas as formas da matéria e do seu movimento foram sempre o apoio do materialismo dialéctico. Todos os limites na natureza são convencionais, relativos, móveis, exprimem a aproximação da nossa mente do conhecimento da matéria, mas isto não demonstra de

> modo nenhum que a natureza, a própria matéria, seja um símbolo, um sinal convencional, isto é, um produto da nossa mente

Em uma posição distinta ao instrumentalismo dos autores Aboites e Aboites (2018) e Canales, Díaz e Aboites (2019), o artigo de Ramberg (2000), publicado na revista de filosofia da química *HYLE,* demonstra o pragmatismo dos químicos ao discutir sobre as estereofórmulas do século XIX. O autor Peter J. Ramberg é historiador da ciência na *School of Science and Mathematics at Truman State University*, tem interesse particular na história da química moderna e leciona diversos cursos (história da ciência; filosofia da ciência; vida extraterrestre) e aulas de laboratório de química orgânica (Ramberg, 2023). O autor em seu site profissional expõe seu interesse em desvendar como os químicos, de fato, tornaram "a química a astronomia do mundo molecular" (fazendo referência a declaração do químico inorgânico, Alfred Werner, em 1905, sobre a possibilidade da química se tornar a astronomia do mundo molecular), e "aprenderam a entender o mundo microscópico do átomo e da molécula no século XIX usando apenas a manipulação macroscópica de produtos químicos em laboratório" (Ramberg, 2023, n.p.).

O artigo analisa os diversos modelos, tanto físicos como simbólicos, que tiveram relevância na história da estereoquímica e que originaram debates a respeito da natureza dos átomos, da sua afinidade e da sua valência, com proposições tidas como absurdas pela física, mas pragmáticas, que foram úteis quimicamente. Ramberg (2000, p. 50-51) discute que os químicos costumeiramente são pragmáticos, "no simples sentido de serem práticos, na adoção de ferramentas e conceitos necessários para alcançar seus objetivos", inclusive, sobre a teoria atômica de tal modo que excluem as "questões sobre a realidade real dos átomos de sua discussão e simplesmente passando a usá-los como se existissem".

Ao especificar a formulação das estereofórmulas no século XIX, segundo Ramberg (2000, p. 53) "os estereoquímicos acreditavam que os grupos ao redor do átomo de carbono estavam arranjados em um tetraedro, e que as estereofórmulas representavam de alguma forma a molécula como um objeto físico". O autor explicita que não se deve confundir o pragmatismo com o instrumentalismo. O segundo supõe, por exemplo, que as estereofórmulas são apenas instrumentos, não tendo existência independente da experiência humana, enquanto o primeiro considera a existência física e não somente útil à prática do químico. Houve influência da física positivista na química nesse período, que resultou em numerosos modelos atômicos

físicos em busca de um modelo universal de átomo que tivesse maior poder explicativo para as estereofórmulas e poder preditivo para as sínteses de compostos, o que não se sucedeu, não tendo contribuições significativas para o desenvolvimento da estereoquímica, de tal modo que, segundo Ramberg (2000), não fariam falta.

Importante salientar que esse pragmatismo dos químicos do século XIX está relacionado ao interesse industrial na síntese de compostos e é paralelo ao período de ascensão do capitalismo na Europa e do desenvolvimento quantitativo, experimental e industrial da química, em especial, da química orgânica, como podemos relacionar com o desenvolvimento histórico das ciências descrito por Bernal (1969), Bensaude-Vincent (1996) e Vidal (1986). Podemos perceber que o pragmatismo dos químicos orgânicos se distancia do subjetivismo dos instrumentalistas por considerar que essas estereofórmulas em algum nível representavam as moléculas na realidade, fisicamente, em um espaço tridimensional, e independente da experiência humana. Por outro lado, ainda que considere uma realidade independente do ser humano, a tentativa de formular um modelo atômico que tivesse condição de explicar e prever a síntese de compostos das estereofórmulas, os aproximaram de um idealismo objetivo, positivista, de modo que as teorias científicas são orientadas para a resolução de problemas práticos.

Até agora, analisamos duas tendências filosóficas que discutem em alguma medida sobre a materialidade dos átomos, abordadas por físicos e por químicos, respectivamente, o instrumentalismo e o pragmatismo. Ambos são idealistas, sendo o primeiro subjetivo e o segundo objetivo. A tentativa agora é de esmiuçar os outros artigos (Chagas, 2003, 2011; Patterson, 2010; Shahbazian, 2013), que se vinculam as discussões realistas, que assumem a existência real dessas partículas, para buscar aspectos materialistas e/ou dialéticos que sustentem a materialidade dos átomos. Também neste sentido, dedicamos a seção seguinte deste capítulo para trazer as contribuições dos filósofos e cientistas soviéticos (Kedrov, 1949; Ovtchinnikov, 1955; Fataliev, 1966).

Iniciamos esta etapa com os artigos de Aécio Pereira Chagas, químico, falecido em junho de 2022, foi bacharel e licenciado pela USP, livre docente em termoquímica e professor titular da Universidade Estadual de Campinas, tem experiência na área de Química, com ênfase em Físico-Química, atuando principalmente nos temas de físico-química, termoquímica, adutos e família do zinco

e é membro associado da Academia Brasileira de Ciências (ABC), Academia de Ciências do Estado de São Paulo (Aciesp), a Sociedade Brasileira de Química (SBQ), a Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC), a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), a Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) e com a Sociedade Real de Química de Londres (RSC, na sigla em inglês) (Chagas, 2023).

Existem dois artigos semelhantes de Chagas (2003, 2011): respectivamente, o primeiro faz parte da seção de história da química da revista "Química Nova na Escola" intitulado "Os noventa anos de *Les Atomes*" e o segundo foi publicado na revista "História da Ciência e ensino: construindo interfaces" intitulado "Existem átomos? (abordando Jean Perrin)". Ambos tratam sobre o trabalho e a obra de Jean Perrin (1870-1926), físico francês ateu e socialista, explorando a formulação do livro *Les Atomes* e o seu impacto na ciência com evidências experimentais do modelo descontínuo da matéria. 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.

Chagas (2003, 2011) traz as controvérsias do século XIX que 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 - influência do positivismo de Comte, que tratava apenas de objetos e fenômenos perceptíveis aos nossos sentidos (Chagas, 2003). No entanto, havia dificuldade em explicar o movimento browniano pelas explicações macroscópicas. A importância dada por Chagas (2003, p. 2) à principal obra de Perrin, a qual lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1926:

> 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. No prefácio, datado de dezembro de 1912, Perrin discute o problema geral da continuidade e da descontinuidade e as leis da Termodinâmica, e menciona dois tipos de abordagens intelectuais nas Ciências Físicas: a analogia e a explanação de complexidades visíveis em termos de simplicidades invisíveis.

Com um detalhamento maior, Patterson (2010) também situa o livro Les Atomes em seu contexto pessoal e histórico e reflete sobre as questões levantadas para o desenvolvimento da filosofia da química, que inclui a história dos antecedentes, o desenvolvimento, a publicação, o conteúdo dos capítulos e como a

comunidade científica reagiu a Les Atomes, apresentado na Conferência de Solvay em 1911 e publicado em 2013.

A comunidade química francesa do século XIX tinha um embate entre a ciência positiva, de Berthelot e Duhem, e os atomistas químicos, como Wurtz: 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 do seu posicionamento favorável à realidade atômica em 1901 em um artigo, Jean Perrin procurou modos de demonstrá-la experimentalmente (Patterson, 2010). “Perrin se interessou pelas propriedades de transporte dos colóides e pelo efeito da carga superficial. Ele usou sua experiência em ciência coloidal para promover a causa da natureza atômica da matéria” (Patterson, 2010, p. 224 - tradução própria). “Desde os tempos de estudante, Perrin acreditava que os átomos não eram apenas entidades úteis, mas também reais” (Nye, 1976, p. 267 - tradução própria).

No Congresso de Solvay de 1911 sobre a radiação e o quanta, Jean Perrin apresentou as evidências da existência dos átomos e teve uma reação positiva da comunidade científica (Patterson, 2010). J. J. Thomson parabenizou o trabalho de Perrin e “uma crítica na Nature celebrou Perrin por ser ‘um experimentalista brilhante e um expoente igualmente brilhante’”. Ainda que alguns cientistas não ficaram totalmente convencidos, esse debate passa a ter fim quando Wilhelm Ostwald em seu livro reconhece as evidências experimentais da natureza discreta ou particulada da matéria, ou seja, da hipótese atômica, destacando o papel do trabalho de J. J. Thomson no isolamento e contagem de íons de gás e do trabalho de Jean Perrin com 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 a maioria dos físicos de que os átomos, de fato, existem.

Diante dos idealismos manifestados pelos químicos e físicos instrumentalistas ou pragmáticos da sua época, influenciados pelo positivismo, Perrin evidencia por treze experimentos distintos a possibilidade de contabilizar os átomos com a obtenção do número de Avogadro. Perrin se posiciona ao lado dos materialistas ao

se propor a evidenciar a existência dos átomos, no sentido contrário a considerá-los como instrumentos, ferramentas ou uma ficção útil, criados pela mente humana. Nega o positivismo ao desconsiderar que somente por meios dos sentidos, das observações, pode se construir conhecimento científico, ao inter relacionar a teoria e a prática física e química com auxílio de formulações matemáticas, para evidenciar a realidade atômica. “Com Ostwald, como com outros, foram os sucessos observacionais do movimento browniano e os resultados visuais dos raios catódicos e da radioatividade que mais impressionaram” (Nye, 1976, p. 267 - tradução própria).

Assim, percebemos que as questões colocadas pelos anti realistas relacionadas à possibilidade de observação dos átomos nas moléculas indicam uma preocupação central: “como é que a realidade pode ser concebida e categorizada na ciência?” (Shahbazian, 2013, p. 78 - tradução própria). A partir dessa questão, Shahbazian pretende debater ao longo do artigo o mito da observação, a natureza da realidade das teorias fenomenológicas, as teorias quânticas dos AIM enquanto metodologia e programa de investigação (embasando-se em Kuhn e Lakatos), e por fim “enfatiza a natureza da realidade científica como um artefato criado dentro de um contexto”, revelando os benefícios do realismo em relação ao antirrealismo (Shahbazian, 2013, p. 78 - tradução própria).

Se embasando nas discussões de Chalmers sobre a filosofia da ciência, Shahbazian (2013) discute sobre o mito da observação, de que existem observações nuas e diretas, mas na verdade as observações sempre são orientadas teoricamente. Para exemplificar, o autor recorre à observação dos níveis de energia de um átomo de hidrogênio:

> Em primeiro lugar, é necessário um espectrômetro para registrar o espectro discreto do hidrogênio atômico, o que significa que as leis da óptica e do eletromagnetismo clássico devem ser conhecidas e utilizadas tanto na concepção do espectrômetro como na compreensão dos elementos básicos do espectro. Além disso, é necessário conhecer a natureza do hidrogênio gasoso atômico utilizado, o que requer um conhecimento abrangente a teoria atômica, da termodinâmica e da química; algo que hoje em dia é trivial para um estudante de ciências, mas que era altamente controverso há mais de um século. Tudo isto deve ser complementado com uma apreciação dos estados internos de um átomo, utilizando a teoria atômica de Bohr (que parece primitiva hoje em dia, mas bastante revolucionária quando foi proposta) ou modelos avançados na mecânica quântica, que são necessários para tornar evidente a relação entre o espectro discreto e os níveis de energia. Assim, é legítimo afirmar que a observação dos níveis de

> energia, como *observável* formal na mecânica quântica, necessita de uma grande parte da física e da química como *contexto*. Além disso, pode afirmar-se que, sem um contexto, todo o ato de observação não tem sentido ou, pelo menos, é inerentemente ambíguo, porque todos os observáveis são introduzidos com base numa teoria subjacente (Shahbazian, 2013, p. 79 - tradução própria)

Esse exemplo de Shahbazian (2013) nos mostra que as evidências da realidade dos átomos nas moléculas não está dada pela observação direta, a olhos nu, o que também foi demonstrado pelos experimentos de Jean Perrin, que necessitam de uma base teórica e experimental para comprovar a existência real dos átomos, ainda que não seja possível vê-los, observá-los diretamente. Neste sentido, percebemos uma aproximação com a compreensão materialista dialética da questão da observação, dos sentidos: ainda que as sensações sejam a porta de acesso do mundo na consciência humana, elas não captam todo conjunto de determinações dos objetos, sendo necessário ferramentas, modelos, que ampliem a visibilidade do que é invisível aos olhos ou as percepções. Assim, não é a sensação direta que nos fornece a verdade sobre a realidade do átomo, mas toda base teórico-prática que sustenta a afirmação da sua existência. Superando os artigos dos limites internalistas, o materialismo histórico-dialético concebe a prática como histórica e social, e portanto, não é a base filosófico-científica que sustenta a existência real, física, das partículas, mas também a sua importância para os modos de produção e o desenvolvimento das forças produtivas, como mostramos no capítulo histórico.

Shahbazian (2013, p. 78 - tradução própria) ao relatar que ainda existem dúvidas sobre a realidade dos átomos, faz questionamentos assertivos quando traz autores do antirrealismo que apelam para o argumento subjetivo e relativista de que assumir os átomos nas moléculas é apenas uma escolha pessoal arbitrária:

> “[...] como é que entidades sujeitas a “escolha pessoal”, inevitavelmente com uma qualidade *subjetiva*, são capazes de revelar fatos e tendências em dados experimentais que não são pessoais e têm um caráter *objetivo*? [...] Não é verdade que o objetivo final da ciência é decifrar como a natureza *realmente* funciona? Então, como se pode afirmar que os AIM, uma das pedras angulares do discurso químico, são apenas *fantasmas na máquina*?”

Podemos perceber que o embate filosófico entre idealismo e materialismo se manifesta na discussão sobre a existência ou não dos átomos, sendo uma das questões centrais para a física e a química da virada do século XIX para o XX. Além da influência do positivismo no século XIX, a descoberta e avanço da radioatividade

e das partículas subatômicas trouxeram dúvidas sobre a estrutura atômica, que antes era indivisível, como relatado por Lénine (1982) também.

6.2. Contribuições do materialismo dialético sobre a materialidade dos átomos

Decidimos separar o artigo de Kedrov (1949) da seção anterior, pois encontramos, durante nossos estudos sobre a relação entre as ciências da natureza e o materialismo histórico-dialético, materiais que nos forneceram algumas contribuições para se discutir, com base nesse método, as descobertas científicas relacionadas aos modelos atômicos e que evidenciam os aspectos materialistas e dialéticos da natureza. Entre eles estão: Ovtchinnikov (1955) e Fataliev (1966). Reconhecemos que as obras não são atuais, no entanto foi o que encontramos de produções embasadas no materialismo dialético que apresentam essas discussões. Dada a possível desatualização de alguns conhecimentos pelo contexto de publicação das obras, pretendemos aqui fazer, ao mesmo tempo, um acúmulo e um avanço das ideias apresentadas pelos autores.

O livro elaborado pela Academia de Ciências da URSS, publicado em 1954, intitulado “Materialismo Dialético” e escrito por filósofos e cientistas soviéticos, no capítulo “A Materialidade do Mundo e as Leis de Seu Desenvolvimento” traz contribuições para discutirmos a nossa perspectiva sobre a materialidade dos átomos, em seu sentido filosófico-científico. Embora reconheçamos que o texto de Ovtchinnikov (1955) apresenta algumas limitações em relação ao materialismo histórico-dialético: o excessivo endeusamento das figuras de Stalin, Marx e Engels, sendo dado grande mérito ao primeiro de ideias já elaboradas anteriormente pelos segundos; e algumas afirmações deterministas relacionadas a uma sociedade comunista pré-determinada, em que a marcha histórica, além de caminhar nesse sentido, deve chegar inevitavelmente nele. Acreditamos que Ovtchinnikov (1955) possa ter desconsiderado o colapso ambiental e a extinção da humanidade, justamente porque ainda em sua época não se haviam evidências científicas tão claras e disseminadas quanto a que temos hoje: de que esse colapso é tão mais possível e próximo do que a destruição do seu causador, o modo de produção capitalista.

De acordo com Fataliev (1966), a dialética, tal como o materialismo, se embasou no atomismo em todo seu desenvolvimento, embora sendo considerado apenas uma hipótese abstrata por muitos séculos, no século XVIII foi dado seu caráter científico pela lei da conservação e transformação de energia de Lomonossov, que dependia de sua concepção atomista: em conjunto com a

elaboração da teoria da evolução em geologia, as representações metafísicas da natureza inorgânica foram refutadas e as novas condições possibilitaram o aparecimento de teorias dialéticas e materialistas.

Os conceitos de moléculas, valência ou atomicidade dos íons, as relações periódicas dos elementos e as noções de estrutura e partículas elementares, só puderam constituir-se com base na concepção de átomo - são derivadas e se desenvolveram a partir dela (Kedrov, 1949). O atomismo contribuiu para dar apoio ao materialismo nas ciências naturais: com a descoberta experimental de Dalton, a existência objetiva dos átomos como partículas materiais ganhou força (Kedrov, 1949). Por exemplo, “os progressos da Química fizeram compreender cientificamente a natureza dos fenômenos químicos como a combinação e a divisão dos átomos, desencadeando toda uma série de leis” (Fataliev, 1966, p. 54).

A influência do sistema produtivo na constituição da teoria atômica está justamente na importância do vapor à indústria depois da Revolução Industrial na Inglaterra, que demonstrou a necessidade de explicar teoricamente os processos que ocorrem na máquina à vapor e como funcionam as leis físicas que governam a ação do vapor (Kedrov, 1949). A partir dos seus experimentos, Dalton estabeleceu a lei das proporções múltiplas para as combinações de elementos químicos e que encontra sua explicação mais acertada na teoria atômica e molecular, pois quando essas partes de matéria, os elementos, se unem, é justamente um átomo de uma com um número inteiro de átomos da outra: as combinações químicas ocorrem pela “mudança quantitativa que se produzia quando se acrescentavam átomos de uma matéria química aos de outra traduzia-se por uma mudança qualitativa: a formação de uma substância nova” (Fataliev, 1966, p. 52).

De acordo com Kedrov (1949), a inserção da dialética na química se deu pela teoria atômica de Dalton, 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: a química orgânica demonstrou, embasada por conceitos como a atomicidade nas estruturas dos compostos, com a síntese da ureia e outros compostos orgânicos por vias inorgânicas, que não existe “abismo intransponível entre a natureza orgânica e inorgânica”, o que sucedeu para a destruição das bases metafísicas e resultou em condições para evidenciar a dialética em muitos fenômenos da natureza” (Fataliev, 1966, p. 52).

Para Kedrov (1949), a teoria atômica de Dalton conseguiu unir a teoria e a prática na química: os conhecimentos práticos e experimentais da química do século XVIII, necessários para o aumento da produção capitalista, foram produzidos pelos químicos analíticos; a explicação teórica da estrutura da matéria pelas hipóteses atômicas teve um lugar subjacente, pois eram tidas como metafísicas ou abstratas e que nada tinham a contribuir para o desenvolvimento da química, que era uma ciência prática. Desta forma, Kedrov (1949) busca demonstrar com a história da química as descobertas que só foram possíveis com a teoria atômica de Dalton, como a tabela periódica de Mendeleev. “O objetivo deste artigo foi estabelecer o curso histórico dos acontecimentos e explicá-los a partir das posições da dialética marxista” (Kedrov, 1949, p. 662 – tradução própria).

A interrelação entre as mudanças quantitativas e qualitativas é a base da lei das proporções múltiplas: por meio de Dalton, o conceito de massa newtoniano desenvolvido por Lavoisier na Química ganhou um conteúdo qualitativo com o novo conceito de massa expresso pelo peso atômico (Kedrov, 1949). O conceito de peso atômico desenvolvido pelo atomismo de Dalton combina a natureza química e a massa individual do elemento, tornando possível o aparecimento das propriedades dos elementos, o que foi, posteriormente, desenvolvido por Mendeleev (assumido por ele próprio a importância da teoria atômica de Dalton para a descoberta das leis periódicas) (Kedrov, 1949). A dialética das relações químicas descoberta por Dalton nos compostos químicos foi estendida por Mendeleev para os elementos químicos (Kedrov, 1949).

A novidade da teoria atômica de Dalton para a história da ciência foi ter conseguido juntar a ideia da composição definida da matéria com a ideia da estrutura atômica da matéria (Kedrov, 1949). No século XVIII se tornou fundamental e necessário fundir a química analítica e o atomismo filosófico em uma teoria científica (Kedrov, 1949). As descobertas científicas das ciências naturais do século XIX demonstraram a dialética objetiva da natureza, no entanto os cientistas continuavam a pensar de forma metafísica, com o uso de métodos lógicos e categorias inadequadas com o conteúdo destas descobertas (Kedrov, 1949). Assim se procedeu com Dalton, que era um materialista rudimentar e não falava sobre temas filosóficos: seu materialismo teve grande influência na atomística química e com a lei da conservação dos átomos ou dos pesos atômicos superou a conservação da matéria de Lavoisier (Kedrov, 1949).

Dalton é um defensor da indução baconiana (Kedrov, 1949). A visão de matéria de Dalton tinha um caráter metafísico expresso pela imutabilidade e indivisibilidade dos átomos (Kedrov, 1949). Dalton separou os átomos do seu movimento; dissociou as forças atrativas das forças repulsivas e as colocou no calórico. Segundo Kedrov (1949), isso não é acidental, Dalton seguiu as ideias gerais universalmente aceitas pelos cientistas de sua época a respeito da matéria e do movimento, substância e força, átomos e fluidos.

A teoria atômica de Dalton foi criticada por Engels por ter relacionado a matéria a átomos imutáveis e indivisíveis, pois a imutabilidade dos elementos químicos, para ele, não era sustentável, e justamente, baseando-se no materialismo dialético, previu o que foi comprovado posteriormente com a descoberta de partículas subatômicas e a transmutação dos elementos químicos com a radioatividade, por exemplo (Fataliev, 1966). “Pensava-se que o átomo era um elemento imutável da natureza”, uno e indivisível (Fataliev, 1966, p. 65). Essa concepção metafísica do átomo foi demonstrada falsa quando “as novas descobertas mostraram que o átomo possui uma estrutura interna complexa” e “estabeleceu-se que na composição do átomo entram os elétrons e as partículas elétricas de carga positiva” (Fataliev, 1966, p. 66).

Com o desenvolvimento dos modelos atômicos quânticos tornou-se conhecidas várias outras partículas materiais, chamadas de partículas elementares: prótons, elétrons, nêutrons, pósitrons, mésons, neutrinos e fótons (Ovtchinnikov, 1955). Os mésons são fundamentais na interação entre os prótons e nêutrons do núcleo atômico, que estão conectados fortemente (Ovtchinnikov, 1955). Conforme esclarece Ovtchinnikov (1955), denominar essas partículas de elementares não significa que o limite da divisibilidade da matéria foi alcançado pela ciência; somente são elementares e indivisíveis para o conhecimento atual das ciências, o que, certamente, no decorrer das novas investigações científicas, irá complexificar a estrutura dessas partículas de modo a superar o nível de aprofundamento atual. “As velhas ideias sobre átomos imutáveis e inteiramente simples, foram substituídas por novas ideias a respeito de sua estrutura extremamente complexa. [...] a estrutura atômica da matéria foi e continua a ser inabalável” (Ovtchinnikov, 1955, p. 420).

Segundo Ovtchinnikov (1955), Ernst Mach e Wilhelm Ostwald negavam a teoria atômica, pois os átomos seriam nada mais do que as criações do nosso espírito, com propósito de sistematizar economicamente nossas impressões. À

época da publicação de Ovtchinnikov (1955), como relatado pelo próprio autor, ainda haviam cientistas que atacavam a teoria atômica, deturpando o conceito de átomo como construção auxiliar, sem meios para negar a existência dos átomos.

> Na realidade, a ciência moderna possui conhecimentos mais profundos no domínio da estrutura atômica da matéria, do que acontecia, por exemplo, no século XIX. Descobriu a inesgotável riqueza das formas da matéria, a complexidade de sua estrutura atômica, a irredutibilidade da matéria a quaisquer elementos absolutamente simples e invariáveis. Todos os resultados alcançados pela ciência moderna confirmam a justeza do materialismo dialético que, ao contrário do materialismo metafísico, nega a existência de quaisquer elementos imutáveis na base de todos os fenômenos da natureza nega a existência da ‘invariável essência das coisas (Ovtchinnikov, 1955, p. 422-423);

Com o materialismo dialético, as teorias gerais da física moderna tem um auxílio para analisar e generalizar os dados experimentais para progredir a ciência (Ovtchinnikov, 1955).

Lénine (1982) afirmou que Wilhelm Ostwald era um grande químico, porém um filósofo ruim, ao propor o energetismo, que reduz todos os fenômenos da natureza à energia pura, na tentativa de estar acima, de superar, a oposição entre materialismo e idealismo. De acordo com Ovtchinnikov (1955), Ostwald desenvolveu, em essência, uma nova variante da filosofia subjetiva e idealista, em acordo com Lénine (1982, p. 426): “Puro idealismo! Não é nosso pensamento que reflete a transformação da energia no mundo exterior, mas o mundo exterior é que reflete a 'qualidade’ de nossa consciência”. Ovtchinnikov (1955, p. 416-417) afirma que “o próprio desenvolvimento da ciência desfez todas as tentativas idealistas de negar a aplicabilidade da lei da conservação e da transformação da energia aos fenômenos atômicos”.

“As diferentes ciências estudam as diferentes formas de movimento da matéria” (Ovtchinnikov, 1955, p. 427). Ovtchinnikov (1955, p. 427) diferencia os movimentos da matéria, dentre muitas outras formas, em forma física e forma química, de modo que, respectivamente, o primeiro constitui o movimento atômico-molecular a partir de processos eletromagnéticos e dos movimentos internos do átomo e do núcleo; o segundo, se constitui do movimento “de combinação e de dissociação dos átomos e moléculas e as leis da estruturação das mais diferentes combinações orgânicas e inorgânicas”. “Os diferentes fenômenos

físico-químicos são formas específicas do movimento peculiares às moléculas, átomos, partículas ‘elementares’, campos” (Ovtchinnikov, 1955, p. 427).

Como já discutimos, com base em Engels (2020) e Lénine (1982), e destacado por Ovtchinnikov (1955), não há matéria sem movimento: nada pode ser dito sobre um corpo se encontrar em repouso absoluto, pois ele não existe; podemos inferir apenas sobre o repouso relativo. As leis da forma específica de movimento da natureza dos átomos dos elementos químicos são estudadas pela física atômica moderna (Ovtchinnikov, 1955).

Com base no materialismo filosófico marxista, as formas distintas de movimentos não se reduzem a outras formas mais simples de movimento, como a química à física, ou a biologia à física ou à química, que são desenvolvidas além dos limites das formas mais simples: a complexificação dos objetos acompanha a complexificação das formas de movimento da matéria (Ovtchinnikov, 1955).

> O aparecimento de formas mais complexas do movimento da matéria, da forma química ou da biológica, por exemplo, está ligado a todo um complexo de transformações no qual as formas mais simples de movimento não desaparecem, mas se conservam como formas acessórias que coexistem com a forma mais complexa. A forma química de movimento, por exemplo, inclui como formas subordinadas, o movimento mecânico, os processos eletromagnéticos e outras formas mais simples do movimento, embora não se reduza a elas (Ovtchinnikov, 1955, p. 430);

Aqui trazemos uma contribuição materialista dialética para a filosofia da química no que diz respeito à questão do reducionismo da química à física, ou as diversas tentativas de reducionismos, que não deixam de ser uma interpretação mecanicista da realidade.

Desta seção, podemos perceber que para o materialismo dialético, mesmo com o atomismo tendo assumido formas espontâneas ou metafísicas, a teoria atômica e os posteriores modelos atômicos, contribuem para evidenciar a existência da matéria antes e independente da consciência humana e da dialética na natureza, fornecendo indícios que nos orientem para um ensino histórico-crítico que tenha como horizonte a formação de uma concepção de mundo materialista histórico-dialética. No próximo capítulo, apresentamos esses indícios embasados no referencial teórico da Pedagogia Histórico-Crítica.

7. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA HISTÓRICO-CRÍTICO DE MODELOS ATÔMICOS

Com o objetivo de desenvolver uma concepção de mundo materialista histórica e dialética, pretendemos neste capítulo responder às questões: por que é necessário ser incorporada a discussão sobre a existência dos átomos no ensino histórico-crítico de modelos atômicos? Qual o papel/relevância/contribuição da discussão sobre a existência dos átomos para o desenvolvimento de uma concepção materialista, histórica e dialética no ensino histórico-crítico de modelos atômicos? Na tentativa de compor aspectos da dimensão filosófico-científica do conteúdo de modelos atômicos, no que diz respeito à existência real dos átomos, para a formação dessa concepção de mundo. Com base nisso, pretendemos reforçar que há um indicativo para os modelos atômicos serem um conteúdo clássico da química, tal como demonstrado pela análise dos livros didáticos de Santos (2020).

Buscamos dar contribuições teóricas para a materialização de uma didática histórico-crítica para a educação química, no sentido que é ressaltado por Messeder Neto (2022) sobre a necessidade de cada área, com seus conteúdos específicos, aprofundar os estudos em seu objeto de conhecimento e nos elementos que constituem essa didática, seja na aplicação e análise de sequências didáticas ou de estudos teóricos propositivos para a materialização da PHC.

Também partimos das contribuições de Santos e Messeder Neto (2023) para se pensar sobre alguns aspectos do clássico que nos valemos nesta pesquisa, são eles: a potencialidade com a liberdade do ser humano, de modo que nos apropriamos de individualidades e da coletividade de determinado contexto histórico; as necessidades históricas, ou seja, a prática social do conteúdo a ser ensinado como um dos critérios de seleção. Os autores em acordo com Galvão, Lavoura e Martins (2019) afirmam que a materialização do clássico pode ser garantida por meio da investigação histórica dos conteúdos escolares. A dimensão filosófico-científica da concepção de mundo está justamente relacionada à elaboração do conhecimento histórico da humanidade (Rosa, 2018). Tomamos aqui um exemplo nosso de uma análise da dimensão filosófico-científica da concepção de mundo na química, tomando como fundamento ontológico o trabalho:

> [...] o trabalho de Mendes (2018) traz alguns aspectos ao discutir sobre o domínio do fogo pela humanidade. Essa transformação

> química foi base para os novos meios de produção, originando um desenvolvimento técnico que levou ao surgimento da metalurgia, da máquina a vapor, do motor à explosão e do desenvolvimento atual das forças produtivas. (MENDES, 2018). Por meio da produção e reprodução do fogo são criadas novas objetivações que impulsionam o processo de desenvolvimento do pensamento objetivo. (MENDES, 2018). O domínio do fogo e posterior compreensão da reação química de combustão na ciência moderna, como conhecimento objetivo da realidade, não mais antropomorfizado pelas explicações místicas, possibilitaram a desantropomorfização dos fenômenos, resultando no desenvolvimento das forças produtivas e de novos conhecimentos sobre a realidade. A objetividade deste conhecimento modificou a subjetividade do ser social, ao mesmo passo que o conhecimento somente foi produzido com base nessa subjetividade e nas condições objetivas dadas (Bernardo *et al*, 2023, p. 21)

A relação da educação escolar e a concepção de mundo é discutida por Duarte (2015, p. 10) a partir da PHC, que postula “que a tarefa da escola é a socialização das formas mais desenvolvidas de conhecimento” e “tem por objetivo a formação das bases para a difusão do materialismo histórico-dialético como concepção de mundo”. Os conhecimentos, posicionamentos e valores sobre a vida, a sociedade e a natureza e a relação entre elas, são o que constituem a concepção de mundo (Duarte, 2015). Ou seja, “[...] a concepção de mundo é síntese do universo simbólico (produzido socialmente) do qual o indivíduo se apropria ao longo da vida, independente do conteúdo deste universo (seu grau de objetividade etc)” (Rosa, 2018, p. 68).

A PHC defende os conteúdos escolares e suas formas de ensino e o materialismo histórico-dialético é entendido como a concepção de mundo mais desenvolvida e crítica, de modo que “o papel educativo do ensino dos conhecimentos científicos, artísticos e filosóficos efetiva-se de maneira tão mais consistente quanto mais esse ensino esteja fundamentado na concepção de mundo materialista, histórica e dialética” (Duarte, 2015, p. 9).

O ensino dos conteúdos escolares é também educar, pois é o ensino das concepções de mundo difundidas por cada conhecimento, seja da Química, Física, História, Geografia etc, mesmo que não estejam aparentes ou sejam espontâneas, elas existem (Duarte, 2015). Endossamos a observação feita por Duarte (2015, p. 12) de que o objetivo não é que o professor ensine o materialismo histórico-dialético, “mas sim que as bases dessa concepção de mundo podem ser formadas pelo ensino dos conteúdos escolares”.

Os elementos culturais estão marcados pela luta ideológica, dentre elas a luta entre concepções de mundo, devido às contradições inerentes à luta de classes, de modo que se faz necessário considerar o caráter contraditório e heterogêneo do seu desenvolvimento tomando posicionamento entre as concepções conflitantes existentes (Duarte, 2015). Percebemos durante nossas análises e no desenvolvimento histórico dos modelos atômicos, a presença do conflito secular entre a continuidade e a descontinuidade da matéria (primeiro com o embate entre a teoria dos elementos e a teoria atômica; e depois com o embate sobre a existência real ou não dessas partículas), de modo que a concepção atomista, ao mesmo tempo que no princípio foi metafísica, por assumir os átomos como imutáveis, sem diferenças qualitativas, possibilitou a compreensão do mundo por suas próprias partes, a base do materialismo. No entanto, quando essa concepção de átomo foi superada pela divisibilidade e transmutação da matéria no início do século XX, com a descoberta do elétrons e outras partículas subatômicas, o materialismo metafísico foi superado, como discutido por Fataliev (1966). Como ressaltado por Duarte (2015, p. 14):

> O desenvolvimento da concepção de mundo depara-se, inevitavelmente, com a necessidade de reconhecimento de suas relações com a prática social concreta, ou seja, reconhecimento de sua inserção na luta de classes e, portanto, na luta ideológica.

Como pudemos reconhecer no desenvolvimento histórico dos modelos atômicos, as teorias atômicas foram majoritariamente negligenciadas por séculos por demonstrarem uma base materialista de explicação da matéria, ainda que metafísicas e limitadas, sendo opostas às concepções religiosas e mágicas, que têm bases idealistas. As concepções mágicas se diferenciam das concepções religiosas, pois as primeiras consideram as forças naturais como espíritos controlados pelo homem e as últimas por serem produto da sociedade de classes, atribuem o controle das forças naturais aos deuses, acima da vontade humana e, por isso, também antropomórfica: reflete a relação entre dominantes e dominados da sociedade estruturada em classe, “captação imediata, espontânea e fetichizada” dessa sociedade (Rosa, 2018, p. 81). De acordo com Duarte (2015), quando Gramsci afirma que o princípio educativo da escola é o trabalho, significa que com os conteúdos escolares há uma luta, de um lado, da concepção de mundo que articula o conhecimento objetivo da natureza e a organização coletiva consciente da

sociedade, e do outro lado, de concepções de mundo mágicas ou folclóricas, de senso comum, influenciadas por misticismo e idealismo.

Ensinar ciências da natureza e da sociedade na escola é trabalhar com valores, ou seja, visões de mundo que são partes da produção e difusão do conhecimento, e que resultam em conflitos ideológicos (Duarte, 2020). Perguntas como “O que é a realidade? O que é a sociedade? O que é a vida humana? Até que ponto o ser humano é sujeito dos rumos da vida e da história?” foram produzidas “pela própria construção do conhecimento científico” e se opõem às concepções pré-científicas ou anti científicas “que subordinam o mundo realmente existente a crenças em mundos transcendentes e em seres e forças místicas e misteriosas que comandariam o que acontece na realidade” (Duarte, 2020, p. 20).

Durante o século XX, a redução da prática à utilidade cotidiana defendidas pelo positivismo e pragmatismo, se aprofundou com o surgimento do neopositivismo, do construtivismo, do neopragmatismo, da teoria do conhecimento tácito, do neoliberalismo, do pós modernismo, etc, e difundiu que a ciência não deve se envolver com as concepções de mundo, o que possibilitou a expansão do irracionalismo e o misticismo e que interessa à burguesia, visto que as concepções religiosas são importantes mantenedoras da domesticação da classe dominada (Duarte, 2015).

O materialismo espontâneo, denominado realismo ingênuo pelos idealistas, é uma das características do pensamento cotidiano, originado pela própria atividade de trabalho, pois os indivíduos, para satisfazer suas necessidades transformando a natureza, precisam lidar com a objetividade dos processos naturais, ainda que limitado pela imediaticidade dos objetos da prática (Duarte, 2015). Esse materialismo espontâneo, inclusive, é mais sensato que as filosofias idealistas, é a relação primordial entre sujeito e objeto presente no cotidiano, de modo que a materialidade da existência é percebida pelos sujeitos, porém sem reflexões profundas: capta-se o mundo mas não se questiona sobre o que se capta, se os sentidos ou as conclusões da nossa consciência são confiáveis, tais tarefas são da ciência e da filosofia (não há como escapar desta relação espontânea com o mundo, mesmo que o sujeito seja um filósofo ou cientista, isso não os exclui do cotidiano) (Duarte, 2015; Rosa, 2018).

Rosa (2018) retoma um exemplo dado por Lukács: um berkeleyano, mesmo que fanático, para atravessar a rua jamais evitaria ou esperaria um carro se não

acreditasse na existência do mundo independente dele, o que significa que a espontaneidade não é um defeito, mas necessária para a vida. Como verificamos nas análises filosóficas, embasadas em Lénine (1982), há ainda a presença desse idealismo subjetivista na química e na física, de modo que as sensações determinariam a realidade ou não das partículas atômicas. Isso implica que é necessário, para um ensino de química histórico-crítico de modelos atômicos, que o professor tenha consciência dessas concepções filosóficas para não cair em relativismo.

Pois, considerando a afirmação de Messeder Neto, Teixeira e Colturato (2022) sobre as tendências ascendentes do pós modernismo (em suas vertentes do multiculturalismo, das particularidades e da decolonialidade, com identidades limitadas a cidadania burguesa para o consumo) na área de ensino de ciências: pelo fato de se denominarem modelos atômicos, pode-se interpretar que os átomos não são reais e reforçar as tendências instrumentalistas, pragmáticas ou anti realistas: os modelos atômicos são apenas representações ou instrumentos úteis, ou ainda, uma intuição teórica dos intelectuais, não tendo materialidade, sendo fruto exclusivamente da mente humana, da subjetividade.

A objetividade se dá na aproximação entre o sujeito e o objeto, de forma que o objeto é a prioridade, pois é necessária a apropriação do objeto pelo sujeito para que possa compreendê-lo, e no movimento histórico essa captação é limitada, o sujeito capta algumas determinações, outras não (Messeder Neto; Teixeira; Colturato, 2022). Tendo como ponto de partida que a realidade existe fora da consciência, terão objetivações e determinações que não são visíveis a toda humanidade, e justamente por isso, o trabalho é coletivo e portanto, se contrapondo a algumas proposições decoloniais, Messeder Neto, Teixeira e Colturato (2022) afirma: se o átomo dá conta da realidade é necessário estudá-lo, independente de quem foi o cientista ou os cientistas que o propuseram - ainda que seja importante investigar e expor os apagamentos e distorções que houveram na história da ciência, isso não invalida a objetividade do conhecimento produzido.

Ao contrário dos conhecimentos produzidos na esfera cotidiana, que são subjetivos e “projetam de elementos da consciência subjetiva no mundo objetivo”, o método científico faz o inverso “parte do objeto, dos fenômenos do real em direção ao sujeito”, sendo objetivo e refletindo “a realidade objetiva com a maior fidelidade possível” (Rosa, 2018, p. 83). Desta forma, a ciência é a humanidade que olha para

si e separa aquilo que é objetivo, o mundo, daquilo que é subjetivo, o quadro do mundo, e portanto, desantropomorfiza a imagem subjetiva da realidade, de modo que “a verdade científica é temporária porque tomar consciência das incoerências do próprio pensamento é tarefa que leva o tempo da história humana” (Rosa, 2018, p. 84).

Como discutido por Rosa (2018), as primeiras formas de pensamento científico, as dialéticas, apareceram na Antiguidade primordialmente e se desenvolveram somente com a modernidade, da mesma forma que no capitalismo também encontramos formas primitivas de pensamento na ciência e na filosofia, o que não anula a evidência de que a ciência tende à objetividade. Messeder Neto, Teixeira e Colturato (2022) concordam com Rosa (2018) e discutem que o progresso científico é dialético, ao mesmo tempo que impulsiona o domínio sobre a natureza, também são geradas contradições, que podem resultar em retrocessos, mas que não nega o fato de termos um maior domínio sobre a natureza do que anteriormente.

> [...] tanto o senso comum quanto o pensamento mais desenvolvido de determinada época estão sujeitos ao controle da classe detentora dos meios de produção econômica. Deste modo, assim como o senso comum encontra terreno fértil para a propagação da ideologia dominante, a ciência, com frequência, serve aos interesses capitalistas (Rosa, 2018, p. 77).

Como destacado por Messeder Neto, Teixeira e Colturato (2022, p. 171): “com os entraves do capital a gente vai também por uma via destrutiva porque não dá pra avançar tanto. [...] Mas isso não é uma limitação do conhecimento científico, mas das relações sob as quais a gente tá sendo colocado agora”.

Como podemos ver que no desenvolvimento histórico do conceito científico de modelos atômicos apareceram diversas teorias e tentativas de aproximação com a realidade objetiva que eram errôneas, no entanto, ainda representavam algum nível de objetividade, de outra esfera, não cotidiana. Como é o exemplo dado por Lénine (1982) sobre a descoberta do elétron no início do século XX e que os idealistas denominavam de desaparecimento da matéria, o que na verdade demonstrou que a previsão de Engels, com base no materialismo dialético, sobre a matéria ser inesgotável e não ser reduzida a nenhum elemento essencial e imutável: estava correta, contrariamente ao que era compreendido pelas primeiras teorias atômicas (materialistas metafísicas), como a de Dalton. Ainda que, como discutido por Kedrov (1949), essa teoria inseriu na química a dialética por meio das leis das

múltiplas proporções, ainda considerava os átomos como partículas indivisíveis e imutáveis.

Para a PHC é insuficiente contar a história dos conteúdos, é necessário que o estudante desenvolva uma intuição histórica que desmistifique a imutabilidade do mundo e da sociedade, vislumbrando possibilidades de transformação da realidade, ou seja, se aproprie da ideia de necessidade humana ao evidenciar o que tava posto quando o conceito surgiu e os debates da época (Messeder Neto, 2022). Para o ensino de química histórico-crítico se dar, precisamos

> [...] disputar a concepção de mundo dos estudantes de modo a produzir em cada um deles nossas conquistas históricas sobre o entendimento da matéria e suas transformações com o intuito de instrumentalizá-los para que conheçam a realidade e queiram urgentemente transformá-la na direção da superação dessa sociedade capitalista (Messeder Neto, 2022, p. 290)

Desse modo, assumir a matéria como atômica teria implicações contrárias a esse próprio modo de produção: ora, se o mundo é composto por partículas divisíveis e espaços vazios, existentes antes e independentemente de nós, somente a descoberta das interconexões entre as partes materiais que compõem esse mundo, pode nos oferecer um reflexo mais fiel da realidade objetiva. A diversidade qualitativa dos átomos, a transmutação dos elementos químicos junto com a teoria da evolução, por exemplo, se opõem à metafísica, à imutabilidade da matéria e da natureza, e demonstram a indissolubilidade entre matéria e movimento. As relações entre os objetos materiais são interdependentes e dinâmicas, de modo que se interagem mutuamente, sempre em movimento, como demonstrado pelos resultados ulteriores da ciência moderna sobre a estrutura da matéria (as partículas atômicas e subatômicas estão em incessante movimento; não existe repouso absoluto, apenas relativo).

Conforme Messeder Neto (2022, p. 278) afirma:

> Ensinar átomo, como conceito científico, é mostrar do que ele é composto, os debates contemporâneos acerca da sua estrutura, a necessidade histórica que levou a humanidade a entender esse aspecto da realidade, como ele é fundamental para entender aspectos mais complexos da matéria e suas transformações etc. Trata-se de trazer o átomo como uma conquista humana ao se aprofundar no estudo da realidade.

Entende-se que as ciências da natureza enquanto processo de objetivação para compreender a natureza, conhecer as leis, seu funcionamento, tem o objetivo de dominá-la para suprir as necessidades do processo de trabalho e fazer

transformações que irão gerar novas objetivações e necessidades que não estavam dadas pela natureza (Messeder Neto, Teixeira e Colturato, 2022). Como demonstrado por Bernardo *et al* (2023, p. 24), ao considerar o trabalho como fundamento ontológico de uma concepção de mundo materialista, histórica e dialética, a educação química histórico-crítica se direciona para que os estudantes "estabeleçam relações dos conteúdos/conceitos com o desenvolvimento dos tipos de transformações da matérias/materiais, como conhecimento objetivo e como ferramentas para a transformação social".

O trabalho, como fundante do ser social, se complexifica em elementos que se constituem em "[...] esfera da atividade humana com função distinta, orientada para objetivos que vão além do próprio trabalho": "[...] o trabalho se diferencia em ciência e em outras atividades genéricas em resposta às necessidades produzidas pelo próprio ser social [...]" de modo que tanto a ciência se origina do trabalho enquanto necessidade prática, quanto retorna para enriquecer e complexificar o trabalho - que "impulsiona permanentemente o desenvolvimento da ciência" (Rosa, 2018, p. 70-71). "Em outras palavras, a atividade científica tanto exige quanto produz um pensamento profundamente abstrato o qual não é necessariamente aplicado diretamente na atividade de trabalho e na esfera prática da vida" (Rosa, 2018, p. 73).

A projeção da consciência subjetiva no mundo objetivo pelo sujeito é a expressão do aspecto teleológico do trabalho, "a força criadora e transformadora da natureza da qual o ser social é dotado", pois tendo um reflexo aproximado da realidade objetiva, pode desenvolver a capacidade de colocar em seu domínio os processos naturais; na cotidianidade essa força é personificada ou resultado de uma consciência exterior, que transcende e antecede o ser humano, permitindo nas etapas iniciais da sociedade o surgimento das concepções mágicas de natureza (Rosa, 2018, p. 79-80). As concepções antropomórficas foram predominantes na explicação da natureza e da visão de mundo da natureza na esfera científica por muitos séculos, sendo superadas, no caso da Biologia, somente nos séculos XIX e XX com a teoria da evolução (Rosa, 2018).

É a partir do trabalho, "entendido como o fundamento de um processo que complexifica cada vez mais o ser social" (Rosa, 2018, p. 70), da sua diferenciação em ciência, que se demonstra a possibilidade de conhecer a realidade e de se aprofundar, em nosso caso, na estrutura da matéria para transformar a natureza,

como buscamos demonstrar no capítulo histórico, por exemplo, durante o período das revoluções burguesas: o incentivo à ciência devido seu sucesso aplicado ao aperfeiçoamento das técnicas (navegação marítima, máquinas a vapor, etc) contribuiu para as transformações sociais que se sucederam na Revolução Francesa e na Revolução Industrial. Os contextos históricos de revoluções estruturais são períodos que surgem diversas produções relevantes para a história da humanidade, sendo mais férteis, como durante o desenvolvimento da ciência moderna nas revoluções francesa e industrial, o que pode ser um norteador para investigar o conceito de clássico com as especificidade de cada disciplina (Santos e Messeder Neto, 2023).

Nesse ínterim, a teoria atômica pôde se desenvolver, ainda que considerada apenas uma hipótese ou uma especulação filosófica, pois demonstrou a necessidade de se compreender a matéria particulada para o desenvolvimento, por exemplo, da indústria à vácuo, das explicações dos fenômenos gasosos - da investigação das substâncias que os compõem e as formas de obtê-los -, possibilitando mais tarde a previsão quantitativa da formação de compostos o que gerou um aumento da eficiência energética das máquinas à vapor e da produtividade das indústrias, atendendo aos interesses da burguesia, do capital e por isso, o ensino de química histórico-crítico não pode se abster “de conhecer os modos de produção que a humanidade viveu; com destaque para o capitalismo que, ainda hoje, rege o modo de reproduzir a nossa existência” (Messeder Neto, 2022, p. 280).

Deste modo, o modelo particulado de matéria, como mostramos, deu maior domínio à humanidade dos processos naturais e químicos a ponto de possibilitar a transformação material, seja superando a barreira da síntese de compostos orgânicos por vias inorgânicas ou pela transmutação dos elementos químicos pela radioatividade. Messeder Neto, Teixeira e Colturato (2022) discutem que quando se assume que a matéria é composta de partículas e espaços vazios, se assume uma concepção materialista: essa concepção de materialidade dificulta prosperar concepções místicas da matéria. A compreensão atômica da matéria nos possibilita conceber o mundo de maneira materialista, histórica e dialética, permitindo a transformação da realidade pelo próprio ser humano. Como explicita Messeder Neto (2022, p. 279):

> Essa compreensão catártica de que a matéria é formada de partículas e espaços vazios, mesmo que no aparente se mostre contínua, é um dos horizontes, em termos de compreensão da estrutura da realidade, que devemos ter como meta quando esse assunto figura em nossas salas de aula.

Os conteúdos são imprescindíveis para o sujeito entender e transformar a realidade de forma coletiva, com base na PHC, de modo que o professor deve ir além do ensino do conceito por si mesmo, abstraído da realidade objetiva, e, para que possamos atingir o grau de consciência que ensejamos, deve considerar:

> a historicidade, o movimento e a dinamicidade do conteúdo permitirão que o aluno, ao se apropriar dessas objetivações humanas, atinja uma compreensão mais sintética da prática social global, uma consciência filosófica que supera, por incorporação, o senso comum (Messeder Neto, 2022, p. 276).

Para a PHC, o ensino do conteúdo considera a concretude e dinamicidade dos conceitos na realidade, de modo que não se reduza à mera vinculação ou relação do conhecimento com a sociedade e o ambiente, mas compreenda suas contradições pela prática social humana (Messeder Neto, 2022). Como condição para entender a prática social, é importante o educador histórico-crítico das ciências da natureza orientar os conteúdos para compreensão dos meios de produção, de considerar um debate ambiental classista, entendendo o funcionamento da natureza e sua transformação pelo ser humano nesse modo de produção e suas consequências, no caso, o colapso ambiental que está sendo produzido pelo sistema capitalista (Messeder Neto, 2022). Questiona, Duarte (2020, p. 18):

> [...] como ensinar ciências da natureza sem se discutir o que o capitalismo está gerando em termos de destruição das condições de vida em nosso planeta? Existe desenvolvimento sustentável sem a superação da lógica econômica comandada pelo capital?

Tentamos extrair da prática social global, como sugere Messeder Neto (2022, p. 276-277), “[...] quais elementos são centrais para que o sujeito compreenda o mundo para além das aparências, para que ele veja aquilo que se esconde na opacidade da vida cotidiana e conheça aquilo de mais desenvolvido que a humanidade já construiu”. As ciências naturais modernas têm cada vez mais se ocupado de fenômenos que não observamos no cotidiano, numa relação imediata, como é o caso dos fenômenos atômicos e moleculares (Rosa, 2018). E neste sentido, demonstramos que compreender a matéria particulada, atomizada e quantizada revela o caráter contraditório entre a aparência e a essência presente na natureza expressa pela continuidade e descontinuidade da matéria, de modo que na

aparência a matéria é contínua, não se subdivide em pequenas partículas possíveis de serem vistas a olho nu ou por equipamentos ópticos.

O que, de fato, jamais seria possível, pois o comprimento de onda dos elétrons e dos átomos são muito menores do que o comprimento de onda da luz, assim nenhum equipamento óptico é capaz de permitir a observação direta dessas partículas. Ao nível experimental, somente podemos inferir indiretamente a presença dessas partículas por técnicas de microscopia eletrônica, dados sinais obtidos a partir de um feixe de elétrons que é bombardeado sobre o material a ser analisado, ou por espectroscopia de absorção atômica, de massa, etc, que possibilita a detecção de moléculas, não de átomos.

Tomando isso como base, podemos dizer que a permanência da discussão presente hoje sobre a existência real ou não dos átomos não tem objetividade, como diz Marx (1845) na segunda tese sobre Feuerbach: “a disputa sobre a realidade ou não realidade de um pensamento que se isola da práxis é uma questão puramente escolástica”. E conforme presenciamos ao longo dessa dissertação, os modelos atômicos, ainda que com suas limitações históricas, sobreviveram a um embate secular, de idas e vindas sobre a teoria atômica, até a sua consolidação como científica durante o século XIX e XX: a previsibilidade quantitativa da formação de compostos, sua aplicação nas indústrias de síntese de produtos e de geração de energia (à vapor, elétrica, radioativa), tornou-se cada vez mais difícil negar sua objetividade, alavancando sua posição de mera hipótese ou especulação filosófica para científica.

De acordo com Messeder Neto, Teixeira e Colturato (2022, p. 192), partindo da premissa que o desenvolvido explica o menos desenvolvido, devíamos estar ensinando modelo quântico em química e não somente a história do modelo de Dalton, Thomson, Rutherford-Bohr, pois não auxilia no desenvolvimento no pensamento da ideia de átomo, mas sim pensar que “a realidade vai estar me dando o que é matéria hoje, descontínua, que o elétron, dá pra pensar ele como partícula – isso aqui é essencial para entender a realidade objetiva”.

A partir da definição de trabalho educativo de Saviani, podemos inferir que, independente do conhecimento específico, é necessário que os professores obtenham o que a humanidade produziu de maior relevância e o convertem em saber escolar, buscando a forma mais adequada para que os alunos possam aprender (Messeder Neto, 2022).

Para além de definir quais conteúdos são clássicos com base no desenvolvimento histórico do gênero humano, Duarte (2015, p. 18) ressalta que o seu papel educativo será efetivo se for determinado “tanto pela riqueza (pelo valor) de seu conteúdo, em termos de desenvolvimento histórico do gênero humano, quanto pelo significado que esse clássico terá, num determinado momento, para a efetivação das possibilidades de desenvolvimento da individualidade do aluno”, de modo que o conteúdo e a forma constituem uma unidade no clássico, que ao se transformar em conteúdo escolar possibilita formas didáticas distintas de ser trabalhado.

A relação entre conteúdo e forma dos clássicos na educação escolar deve tomar como referência a concepção de mundo materialista, histórica e dialética, em contraposição ao relativismo e o dogmatismo: o primeiro nega os clássicos, sendo eles apenas fruto de concepções etnocêntricas e colonizadoras, ou só são valorizados para uma cultura particular; o segundo desconsidera a historicidade dos clássicos, existindo em si mesmo a partir de uma hierarquia idealizada (Duarte, 2015). Neste sentido, a PHC supera tanto o relativismo quanto o dogmatismo ao defender que a escola deve trabalhar com conteúdos clássicos, seja nas ciências, nas artes ou nas filosofias, tomando como referência a luta histórica pela emancipação do gênero humano (Duarte, 2015).

Existe uma unidade de contrários na investigação da seleção de conteúdos na PHC entre “conhecer como a estrutura desses conhecimentos estão organizadas no contexto atual, assim como os seus processos e movimentos de desenvolvimento ao longo da história de sua produção pela humanidade” (Santos; Messeder Neto, 2023, p. 8). Foi proposta pelos autores um caminho de investigação do clássico em três pontos:

> a) Investigar a estrutura lógica do conhecimento a ser ensinado. Identificar o que se expressa como mais geral, o que dá identidade ao objeto específico, sem perder de vista a prática social, e, assim, encontrar os conceitos estruturantes do objeto e suas manifestações concretas;
> b) Entender o movimento de seleção dos conteúdos ao longo da história de consolidação da disciplina escolar do objeto específico. Ademais, cabe aqui olhar o que permaneceu e o que foi excluído, isto, a partir da investigação dos livros didáticos e currículos instituídos, prestando atenção nos embates daquilo que permaneceu e daquilo que foi retirado ao longo da história da disciplina;
> c) Investigar a história do desenvolvimento da ciência de referência sem abrir mão das contradições políticas. Entender o processo de produção do conhecimento é crucial para que possamos perceber,

> em movimento, o objeto que desejamos ensinar e suas tendências de transformação, para que assim possamos pensar com mais acuidade aquilo que de fato se estabeleceu no tempo por se caracterizar como algo essencial (Santos; Messeder Neto, 2023, p. 17-18).

Nesta pesquisa, tentamos atingir de forma mais direta os caminho a) e c):

a) parcialmente atingido com as análises filosóficas, pois como apresentamos no capítulo 7 que existem diversas linhas de pesquisa na filosofia da química e nos restringimos a investigar somente um aspecto dentre tantos, o da existência real ou não dos átomos, e desse modo não podemos afirmar que se identifica com o mais geral ou que dá identidade ao objeto, os modelos atômicos, mas sim, que para o desenvolvimento desse objeto é um aspecto determinante para os desdobramentos e as necessidades da prática social, como procuramos demonstrar aqui.

b) não atingimos diretamente, mas indiretamente pela pesquisa já feita por Santos (2020), que nos facilitou essa tarefa ao apontar os modelos atômicos como um dos conteúdos que resistiram às mudanças nos livros didáticos brasileiros, tendo aparecido pela primeira vez no período de 1930-1947 e permanecido até hoje, sendo um indicativo de conteúdo clássico da química para a Pedagogia Histórico-Crítica.

c) atingido na medida que conseguimos apresentar o desenvolvimento histórico dos modelos atômicos e a sua relação com os modos de produção e as forças produtivas, além de partir dessa própria história para compreender o embate entre a realidade ou não dos átomos, embora reconheçamos não ter conseguido em todos os momentos fazer essas articulações pela própria dificuldade de encontrar referenciais (como antecedemos, essa pesquisa não se pretende historiográfica), além do que já apresentamos no capítulo do desenvolvimento histórico.

De acordo com Messeder Neto (2022, p. 278), para que os conteúdos da química sejam trabalhados em uma perspectiva histórico-crítica deve-se "[...] executar um ensino que ampliará, de modo espiralar, a significação das palavras, seus nexos e relações, deixando a realidade cada vez mais inteligível para o estudante", e deste modo, se torna possível o desenvolvimento de "uma concepção de mundo cada vez mais materialista da natureza, afastando-se de explicações místicas, folclóricas, fetichizadas sobre a matéria e suas transformações."

O horizonte do professor histórico-crítico deve ser as próprias conquistas históricas da humanidade e o modo que a ciência se transforma em força produtiva

e é mobilizada pelo modo de produção que vivemos, colocando a tecnologia a serviço de interesses mercadológicos (Messeder Neto, 2022). O ensino de química histórico-crítico deve “arrancar o véu do processo produtivo, mostrando para cada estudante que as produções humanas são fruto de trabalho humano”, de uma classe que necessita vender sua força de trabalho para sobreviver nesse sistema regido pela mercadoria (Messeder Neto, 2022, p. 280).

Messeder Neto (2022) ressalta que, diante da concretude das escolas, a tarefa do ensino de química histórico-crítico pode parecer impossível, inatingível, no entanto, o professor que prevê idealmente o objetivo de ensino, tenta encontrar brechas dentro da sua prática para que se efetive mais aproximadamente desse objetivo e precisa agir politicamente para criar mais condições para o ensino da química concreta. Rosa (2018, p. 67) discute que “o trabalho pedagógico coloca-se como responsável pela ligação não espontânea, intencional e consciente entre o indivíduo e as formas de conhecimento mais desenvolvidas, tal como o conhecimento objetivo (filosófico-científico) sobre a natureza”.

Como bem destacado por Santos e Messeder Neto (2023, p. 19), é necessário “estabelecermos uma agenda coletiva das diversas disciplinas específicas para avançar no enriquecimento do clássico em seu sentido universal a partir das especificidades de cada disciplina”, mas como alerta os autores, isso não resolve o trabalho educativo e a transformação na sociedade, ainda que importante para auxiliar o uso da PHC na escola, é somente na luta política com os movimentos sociais “pulsando a práxis revolucionária de forma organizada e coletiva que poderemos vislumbrar um futuro melhor e mais digno sem a exploração do ser humano pelo ser humano”.

Concluímos que é possível identificar o embate entre algumas tendências idealistas ou materialistas a respeito da materialidade dos átomos, sendo elas instrumentalistas, pragmáticas ou realistas na filosofia da química. Cada uma delas está relacionada a uma base filosófica distinta, respectivamente: idealismo subjetivo, idealismo objetivo e materialismo. Pudemos compreender a constituição dos modelos atômicos em seus aspectos filosóficos e a sua relação com as influências ideológicas, econômicas e políticas de cada período, como é o caso das proposições de modelos físicos dos átomos na química orgânica, na busca de atender ao positivismo que imperava no século XIX, ou então, o pragmatismo que era uma resposta a demanda capitalista de síntese de novos compostos.

Podemos dizer que conceber a estrutura da matéria como atomizada e que esses átomos existem materialmente implica filosoficamente: a realidade existir independente do ser humano (os átomos, enquanto partes constituintes da estrutura da matéria, demonstram que há coisas das quais não podemos ver, porém que existem e determinam em algum nível as propriedades dos materiais e das substâncias); a possibilidade de transformação (o movimento enquanto forma de existência da matéria, em especial dos átomos, revela o caráter de incessante movimento da realidade e portanto, da sua transformação); a conexão mútua e interdependente entre os objetos da realidade (a compreensão de que essas partículas somente tem existência na relação com as outras e em determinadas condições); existe uma contradição entre aparência e essência na realidade (a continuidade - visível - e a descontinuidade da matéria - invisível).

Essas implicações são importantes para a constituição da dimensão filosófico-científica da concepção de mundo a partir dos modelos atômicos, de modo que podemos articular esses aspectos direcionando o ensino histórico-crítico deste conteúdo para a formação de uma concepção de mundo materialista, histórico e dialética.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOITES, V.; ABOITES, G. La ciencia y el mundo físico de acuerdo a W. T. Stace. **Valenciana**, n. 21, p. 187-205, 2018. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/pdf/valencia/v11n21/2007-2538-valencia-11-21-187.pdf. Acesso em: 23 jan. 2023.

ABOITES, G. **Gilberto Aboites Manrique**. Disponível em: http://www.investigacionyposgrado.uadec.mx/investigador/gilberto-aboites-manrique/ . Acesso em: 24 fev. 2023.

ABOITES, V. **ResearchGate**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vicente-Aboites. Acesso em: 24 fev. 2023.

AGOSTINI, C.; SILVEIRA, I. P.; POLLA, C. C. Scientific Evolution of Philosophical Concepts of the Origins of Universe and Life. **Revista Archai**, [S.L.], v. 1, n. 31, p. 1-22, 10 dez. 2021. Coimbra University Press. http://dx.doi.org/10.14195/1984-249x_31_16. Disponível em: https://www.scielo.br/j/archai/a/vXwfBBMQHcVQLXGmywd6SDd/?format=pdf&lang=en. Acesso em: 06 ago. 2023.

BAIRD, D; SCERRI, E; MCINTYRE, L. **Philosophy of chemistry:** synthesis of a new discipline. Dordrecht: Springer, 2006.

BRASIL. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Educação. **Currículo do Estado de São Paulo:** Ciências da Natureza e suas Tecnologias - Ensino Fundamental - Ciclo II e Ensino Médio. São Paulo, 2011. Disponível em: https://www.educacao.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/235.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

BRASIL.Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Educação. **Currículo Paulista:** Etapa Ensino Médio. São Paulo, 2020. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/wp-content/uploads/2020/08/CURR%C3%8DCULO%20PAULISTA%20etapa%20Ensino%20M%C3%A9dio.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio:** Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, 2002. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 03 mar. 2023.

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

BERNAL, J. D. **Ciência na história**. Lisboa: Livros Horizonte, 1969. (Volume 3).

BERNARDO, F. A.; ESTEVAN, L. R. Q.; MASSI, L.; TEIXEIRA, L. A. Trabalho como fundamento ontológico de uma concepção de mundo materialista, histórica e dialética para a educação em Química. **Revista HISTEDBR On-line**, Campinas, SP, v. 23, p. 1-28, 2023. DOI: 10.20396/rho.v23i00.8671015. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/histedbr/article/view/8671015. Acesso em: 27 abr. 2023.

CANALES, C. G. **ResearchGate**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Guterrez-Canales-2. Acesso em: 24 fev. 2023.

CÁSSIO, F. L. Base Nacional Comum Curricular: ponto de saturação e retrocesso na educação. ("Base Nacional Comum Curricular: ponto de saturação e retrocesso na ...") **Retratos da Escola**, v. 12, n. 23, p. 239-254, 2018. DOI: https://doi.org/10.22420/rde.v12i23.887

CATINI, C. Empreendedorismo, privatização e o trabalho sujo da educação. **Revista USP**, n. 127, p. 53-68, 2020. DOI: ttps://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i127p53-68

CHAGAS, A. P. **Aécio Pereira Chagas**. Disponível em: http://lattes.cnpq.br/8921671762710331. Acesso em: 24 fev. 2023.

CHAGAS, A. P. **Aécio Pereira Chagas**. Disponível em: http://www.abc.org.br/membro/aecio-pereira-chagas/. Acesso em: 24 fev. 2023.

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%AAncias%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.

CHAVES, L. M. M. P.; SANTOS, W. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. História da Ciência no Estudo de Modelos Atômicos em Livros Didáticos de Química e Concepções de Ciência. **Química Nova na Escola**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 269-279, fev. 2014. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20140032. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc36_4/05-HQ-176-12.pdf. Acesso em: 30 dez. 2020.

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

DÍAZ, O. O.; CANALES, C.; ABOITES, V. Teoría atómica y realismo científico. **Revista Mexicana de Física**, [S.L.], v. 65, n. 1-, p. 84-100, jan. 2019. Sociedad Mexicana de Fisica A C. http://dx.doi.org/10.31349/revmexfise.65.84 .

DÍAZ, O. O. Octavio José Obregón Díaz. Disponível em: https://es.wikipedia.org/wiki/Octavio_Jos%C3%A9_Obreg%C3%B3n_D%C3%ADaz. Acesso em: 24 fev. 2023.

DUARTE, N. A importância da concepção de mundo para a educação escolar: porque a pedagogia histórico-crítica não endossa o silêncio de Wittgenstein. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 8, 2015. http://dx.doi.org/10.9771/gmed.v7i1.12808. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/revistagerminal/article/view/12808. Acesso em: 27 jul. 2023.

DUARTE, N. O Ensino de Ciências e o acirramento da luta ideológica. **Simbio-Logias**, Botucatu, v. 12, n. 17, p. 17-32, nov. 2020. Disponível em: https://www.ibb.unesp.br/Home/ensino/departamentos/educacao/o_ensino_de_ciencias_e_o_acirramento.pdf. Acesso em: 27 jul. 2023.

ENGELS, F. **Anti-Dühring**: a revolução da ciência segundo o senhor Eugen Dühring. São Paulo: Boitempo, 2015.

ENGELS, F. **Dialética da natureza**. São Paulo: Boitempo, 2020.

FATALIEV, K. **O materialismo dialético e as ciências da natureza**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1966.

GALVÃO, A.; LAVOURA, T. N.; MARTINS, L. M. **Fundamentos da didática histórico-crítica**. Campinas, SP: Autores Associados, 2019.

GASPARIN, J. L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. 5. ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2012.

HOBSBAWM, E. **A era das revoluções**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2007.

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. JSTOR. http://dx.doi.org/10.2307/2103296. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2103296. Acesso em: 06 ago. 2023.

KRAGH, H. The First Subatomic Explanations of the Periodic System. **Foundations Of Chemistry**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 129-143, 2001. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1023/a:1011448410646. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/A:1011448410646. Acesso em: 06 ago. 2023.

KUENZER, A. Z. Sistema educacional e a formação de trabalhadores: a desqualificação do Ensino Médio Flexível. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, p. 57-66, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-81232020251.28982019

LAVOURA, T. N. uma face contemporânea da barbárie: a bncc e a ofensiva do capital na devastação da educação pública. **Revista Fluminense de Educação Física**, v. 2, n. 01, 2021.

LABARCA, M.; BEJARANO, N.; EICHLER, M. L. Química e filosofia: rumo a uma frutífera colaboração. **Química Nova**, [S.L.], v. 36, n. 8, p. 1256-1266, 2013. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422013000800027 .

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**, [S. L.], v. 13, n. 3, p. 121-147, mar. 2014. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4274/2839. Acesso em: 04 jan. 2021.

LÉNINE, V. I. **Materialismo e empiriocriticismo**. Editorial "Avante!", Lisboa, 1982.

MASSI, L. *et al*. 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. 212-255, 28 ago. 2019. Investigações em Ensino de Ciências (IENCI). Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/1378/pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

MARSIGLIA, A. C. G. *et al*. A Base Nacional Comum Curricular: um novo episódio de esvaziamento da escola no Brasil. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 107-121, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/revistagerminal/article/view/21835/14343. Acesso em: 27 dez. 2022.

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. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0104-4060.59428.

MARX, K. **O capital**. Boitempo, São Paulo, 2013.

MARX, K. **Teses sobre Feuerbach**. 1845. Disponível em: https://www.marxists.org/portugues/marx/1845/tesfeuer.htm. Acesso em: 21 jul. 2023.

MATTHEWS, M. R. **Science Teaching**: The Contribution of History and Philosophy of Science Education. 2 nd ed. New York: Routledge, 2015, 478 p.

MESSEDER NETO, H. S. Ensino da química na Pedagogia Histórico-Crítica: considerações sobre conteúdo e forma para pensarmos o trabalho pedagógico concreto. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 271-293, 10 set. 2022. http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p271. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/2891. Acesso em: 27 jul. 2023.

MESSEDER NETO, H.; TEIXEIRA, L. A.; COLTURATO, A. A categoria trabalho como mediadora entre a transformação e a prática social no Ensino de Química: entrevista com Hélio Messeder Neto. In: TEIXEIRA, L. A.; MASSI, L. (org.). **O papel do conhecimento científico na formação da concepção dos estudantes**: desafios da pesquisa em ensino de ciências e de sociologia no brasil. S. L.: Lutas Anticapital, 2022. p. 7-269. Disponível em: https://lutasanticapital.com.br/collections/ebooks/products/pdf-o-papel-do-conhecime

nto-cientifico-na-formacao-da-concepcao-de-mundo-dos-estudantes-desafios-da-pesquisa-em-ensino-de-ciencias-e-de-sociologia-no-brasil. Acesso em: 28 jul. 2023.

MELO, M. R. **Estrutura atômica e ligações químicas**: uma abordagem para o ensino médio. 2002. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. **Em aberto**, Brasília, v. 7, n. 40, p. 25-41, out/dez 1988.

MORTIMER, E. F. Concepções atomistas dos estudantes. **Química Nova na Escola**, [S. L.], v. 1, n. 1, p. 23-26, maio 1995. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc01/aluno.pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

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. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0039-3681(76)90007-8. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0039368176900078. Acesso em: 06 ago. 2023.

OVTCHINNIKOV, N. A materialidade do mundo e as leis de seu desenvolvimento. In: TCHERTKOV, V.P.; MOLODTSOV, V.S.; TROCHIN, D.M.; MOROZ, K. V.; KALOCHIN, F. I.; OVTCHINNIKOV, N. F.; BELOV, P. T.; GAIDUKOV, I.G.; LEONOV, M.A. **Materialismo dialético**. Rio de Janeiro: Vitória, 1955. 783 p.

PATTERSON, G. D. Les Atomes: a landmark book in chemistry. **Foundations Of Chemistry**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 223-233, 30 out. 2010. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10698-010-9098-1. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-010-9098-1. Acesso em: 06 ago. 2023.

PESSOA, F. **O guardador de rebanhos e outros poemas**. São Paulo: Cultrix, 1989. Seleção e introdução de Massaud Moisés.

PRADO, K. F. **Livros didáticos e concepções de professores**: a história da ciência no Ensino de equilíbrio químico. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Educação Para A Ciência, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Bauru, 2016.

RAMBERG, P. J. Pragmatism, Belief, and Reduction: Stereoformulas and Atomic Models in Early Stereochemistry. **HYLE**. v. 6, n. 1, p. 35-61, 2000. Disponível em: https://www.hyle.org/journal/issues/6/ramberg.pdf . Acesso em: 23 jan. 2023.

RAMBERG, P. J. **Welcome**. Disponível em: https://ramberg.sites.truman.edu/. Acesso em: 24 fev. 2023.

RIBEIRO, M. A. P. **Integração da filosofia da química no currículo de formação inicial de professores**: contributos para uma filosofia do ensino. 2014. 390 f. Tese (Doutorado) - Curso de Desenvolvimento Curricular, Instituto de Educação, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/handle/10451/12152 . Acesso em: 23 jan. 2023.

RIBEIRO, M. A. P. Panorama histórico da relação entre Filosofia e Química. **Educação Química En Punto de Vista**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 21-41, 30 dez. 2017. Educacao Quimica en Punto de Vista. http://dx.doi.org/10.30705/eqpv.v1i2.977 .

ROCKE, A. J. Atoms and Equivalents: the early development of the chemical atomic theory. **Historical Studies In The Physical Sciences**, [S.L.], v. 9, p. 225-263, 1 jan. 1978. University of California Press. http://dx.doi.org/10.2307/27757379. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/27757379. Acesso em: 06 ago. 2023.

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://wwws.fclar.unesp.br/agenda-pos/educacao_escolar/4737.pdf. Acesso em: 04 jan. 2021.

SANTOS, V. F. D.; MESSEDER NETO, H. S. O que queremos ensinar é mesmo clássico? Veredas para pensar a seleção de conteúdos na pedagogia histórico crítica. **Revista HISTEDBR Online**, Campinas, SP, v. 23, p. 1-22, 2023. DOI: 10.20396/rho.v23i00.8666647. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/histedbr/article/view/8666647. Acesso em: 27 jul. 2023.

SANTOS, V. F. D. **Entre o boto e a rosa do clássico**: análise histórico-crítica do movimento dos conteúdos nos livros didáticos de química. 2020. 293 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/32562/1/Disserta%c3%a7%c3%a3oVictorFerreira_Vers%c3%a3oFinal.pdf. Acesso em: 29 jul. 2023.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica**: primeiras aproximações. 11. ed. rev. Campinas, SP: Autores Associados, 2011.

SCERRI, E. **Collected papers on philosophy of chemistry**. London: Imperial College Press, 2008.

SHAHBAZIAN, S. Letter to the editor: are there “really” atoms in molecules?. **Foundations Of Chemistry**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 77-84, 10 mar. 2013. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10698-013-9187-z. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-013-9187-z. Acesso em: 06 ago. 2023.

SCHINAIDER, J.; KRAUSE, D.. Indiscernibilidade e identidade em química: aspectos filosóficos e formais. **Manuscrito**, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 113-160, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-60452014000100004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/man/a/BwBdpZKs9J5G7Ks4XscV4yL/abstract/?lang=pt. Acesso em: 06 ago. 2023.

SCHUMMER, J. The philosophy of chemistry: from infancy toward maturity. In: BAIRD, D; SCERRI, E; MCINTYRE, L. **Philosophy of chemistry**: synthesis of a new discipline. Dordrecht: Springer, 2006. p. 3-362.

SCHUMMER, J. The Preference of Models over Laws of Nature in Chemistry. **European Review**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 87-101, mai. 2014. Cambridge University Press (CUP). http://dx.doi.org/10.1017/s1062798713000781.

SILVA, L. B. et al. A Filosofia Da Ciência E A Filosofia Da Química: uma perspectiva contemporânea. **Revista Ideação**, [S.L.], p. 392-423, 5 mar. 2018. Universidade Estadual de Feira de Santana. http://dx.doi.org/10.13102/ideac.v0i0.3020 .

USSELMAN, M. C.; BROWN, T. A. Atomic Theory and Multiple Combining Proportions: the search for whole number ratios. **Annals Of Science**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 153-169, 31 mar. 2015. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/00033790.2015.1007522. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00033790.2015.1007522. Acesso em: 06 ago. 2023.

USSELMAN, M. C.; LEAIST, D. G.; WATSON, K. D. Dalton's Disputed Nitric Oxide Experiments and the Origins of his Atomic Theory. **Chemphyschem**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 106-110, 11 jan. 2008. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/cphc.200700707. Disponível em: https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cphc.200700707. Acesso em: 06 ago. 2023.

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, dez. 2022. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/86571/52151. Acesso em: 24 fev. 2023.

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.sbq.org.br/online/cadernos/07/a03.pdf. Acesso em: 08 jul. 2022.

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

VIHALEMM, R. Theoretical Philosophy and Philosophy of Science in the Soviet Times: some remarks on the example of estonia, 1960-1990. **Studia Philosophica Estonica**, [S.L.], p. 195-227, 11 mar. 2016. University of Tartu. http://dx.doi.org/10.12697/spe.2015.8.2.10. Disponível em: https://ojs.utlib.ee/index.php/spe/article/view/14380. Acesso em: 12 nov. 2023.