

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos
Programa de Pós-Graduação em Química



Dissertação

**Trajatória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma
discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química**

Vitória Schiavon da Silva

Pelotas, novembro de 2022

Vitória Schiavon da Silva

Trajatória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Química.

Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586t Silva, Vitória Schiavon da

Trajetória e construção do conceito de ligações químicas de Gilbert Lewis : uma discussão a partir da epistemologia e do ensino de Química / Vitória Schiavon da Silva ; Bruno dos Santos Pastoriza, orientador. — Pelotas, 2022.

142 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Conhecimento. 2. Epistemologia. 3. Ciência. 4. Ensino de Química. I. Pastoriza, Bruno dos Santos, orient. II. Título.

CDD : 540.7

Vitória Schiavon da Silva

Trajetória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química

Dissertação de mestrado aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 10-11-2022

Banca examinadora:



Prof. Dr. Bruno dos Santos Pastoriza (Orientador)
Doutor em Educação em Ciências Químicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)



Prof. Dr. Fábio André Sangiogo
Doutor em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Prof. Dr. Maurício Selvero Pazinato
Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Agradecimentos

Jamais conseguiria chegar à conclusão desta dissertação sem o apoio, carinho e incentivo de pessoas especiais.

Gostaria de começar os agradecimentos citando as pessoas que me motivam a ser melhor todos os dias, meus pais. Solange, Nelci e José Antônio (*In memoriam*) nunca conseguirei colocar em palavras o tamanho da minha gratidão. Com a conclusão deste trabalho provamos para nós mesmos que somos capazes de sonhar e realizar nossos sonhos. Vocês são pessoas fortes que me inspiram, obrigada por tudo.

Gostaria de agradecer aos meus irmãos Camila, Joice, Jose e José Eduardo por todo incentivo e apoio nos meus estudos, vocês são fundamentais na minha vida. Aos meus sobrinhos Isadora, Ramon, Ricardo, Luiza e Antônia espero que esta conquista possa incentivar vocês no caminho da educação, somos capazes de transformar o mundo em que vivemos através do nosso conhecimento.

Ao meu namorado Samuel agradeço todo companheirismo, incentivo e confiança depositados em mim. Sempre soubemos o quanto os estudos poderiam mudar nossa vida e por isso estamos sempre incentivando um a carreira do outro. Tu és, e sempre vai ser essencial na minha vida, meu ponto de carinho e aconchego nos momentos difíceis. Obrigada por tudo, tu és especial.

Ao meu amigo verdadeiro, Leandro, agradeço por mesmo distante em quilômetros nunca ter sido ausente. Todas as vezes que estava difícil foi tu que conseguiu me mostrar uma forma de não desistir, tu és minha força.

À Charlene, pelo incentivo e companheirismo de anos de amizade. Não existe nada no mundo que pague teu carinho, dedicação e amor que sempre teve por mim. Obrigada por torcer pelas minhas vitórias de uma forma tão verdadeira e ingênua, o que é tão difícil nos dias de hoje.

O meu agradecimento carinhoso, respeitoso e verdadeiro vai para meu orientador Dr. Bruno dos Santos Pastoriza por sempre ter acreditado e depositado sua confiança em mim ao longo de todos esses anos de trabalho que se iniciaram ainda na graduação. Eu não tenho como descrever toda admiração que tenho pelo teu trabalho e pela pessoa humana e verdadeira que tu és. Posso falar com toda certeza que este trabalho foi tão maravilhoso de desenvolver graças a sua orientação sempre paciente, conduziu todo esse processo com leveza. Me sinto orgulhosa de ter trabalhado ao teu lado, sei que sempre buscou o melhor do meu trabalho, exigindo tudo que era possível. Obrigada Professor, o senhor me motiva a ser a melhor profissional possível.

Aos professores Fábio Sangiogo e Alessandro Cury por fazerem parte da minha formação através do incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstraram. Do mesmo modo, agradeço as amizades feitas ao longo desta trajetória principalmente pelas colegas Camila, Paola, Thais e Eduarda.

Agradeço ao laboratório do qual faço parte, o LABEQ, assim como aos demais integrantes do grupo. Ao PPGQ pela oportunidade de avançar em minha formação, a UFPel por ofertar uma educação pública e de qualidade e a Capes pelo auxílio financeiro.

SILVA, Vitória Schiavon da. **Trajatória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química.** Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza. 2022. p. 142. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo entender como ocorreu a construção do conceito de Ligações Químicas proposto por Gilbert Lewis, estudado no Ensino Médio contemporâneo. O estudo é desenvolvido através de uma visão histórica e epistemológica, situadas na área do Ensino de Química baseadas nos estudos de Gaston Bachelard. Metodologicamente, a pesquisa se caracteriza como qualitativa, descritiva e interpretativa. Os primeiros capítulos realizam uma discussão teórica com base em estudos de revisão e permitem compreender as implicações da história e da epistemologia da ciência, bem como, trazer um panorama dos estudos de Bachelard, e dos conceitos discutidos pelo autor no Ensino de Química. Os capítulos finais apresentam uma análise documental para a compreensão das noções de conceito, destacando a sua pluralidade com base nos estudos de Taber (2019). Um caminho possível e provável para a construção do conceito de Ligações Químicas de Lewis é descrito a partir de uma visão epistemológica, discutindo alguns estudos que antecedem a proposição de Gilbert Lewis para as Ligações Químicas. Os documentos não são tratados neste estudo necessariamente em ordem “temporal”, mas sim, por uma perspectiva orientada pela análise epistemológica com base em Bachelard. Portanto, foi possível analisar os documentos de modo a construir o caminho das ideias. A sequência do estudo apresentada a gênese do conhecimento científico proposto por Lewis a respeito das Ligações Químicas e sua construção, as concepções que se sucederam nos seus diferentes contextos e as modificações ocorridas ao longo do tempo, baseando-se principalmente na análise de três artigos publicados por Lewis. Deste modo, atentando-se para as relações do conceito de Lewis presente no Ensino Médio atual, discutido nas aulas de Química o estudo estabelece as relações com os níveis macroscópico, submicroscópico, simbólico e humano, os quais organizam a área do Ensino de Química. Sugerindo como possibilidade metodológica a utilização da própria proposta de Lewis para o ensino das Ligações Químicas, como por exemplo, a utilização de seu modelo atômico cúbico, as discussões das Ligações Químicas a partir das propriedades das substâncias e estrutura da matéria. Foi possível evidenciar a importância da história e da epistemologia para a compreensão da natureza do conhecimento científico, principalmente quando baseadas nos estudos de Bachelard, que se mostram com grandes potencialidades e ainda atual nos dias de hoje. Os estudos de Lewis sobre as Ligações Químicas se desenvolveram a partir de conceitos já existentes, demonstrando que o conhecimento científico não é fruto um processo histórico de construção. A ligação iônica e a ligação covalente estão sendo trabalhadas no Ensino de Química, porém a forma como Lewis explica sua teoria originalmente é desconsiderada, se explica a atração entre os átomos associado a formação da regra do octeto. O modelo atômico proposto por Lewis não é apresentado na sala de aula, é comumente utilizado o modelo atômico de Bohr. Destacar tais características e fragilidades dos processos de ensino relativos às Ligações Químicas pode colaborar com a formação docente e o ensino escolarizado da disciplina escolar de Química.

Palavras-chave: Conhecimento. Epistemologia. Ciência.

SILVA, Vitória Schiavon da. **Trayectoria y construcción del concepto de Enlace Químico de Gilbert Lewis: una discusión desde la Epistemología y de la Enseñanza de la Química.** Director: Bruno dos Santos Pastoriza. 2022. 142p. Disertación (Maestría en Química) - Programa de Posgrado en Química, Centro de Ciencias Químicas, Farmacéuticas y Alimentarias, Universidad Federal de Pelotas, Pelotas 2022.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo comprender cómo ocurrió la construcción del concepto de Enlaces Químicos propuesto por Gilbert Lewis, estudiado en la escuela secundaria contemporánea. El estudio se desarrolla a través de una visión histórica y epistemológica, ubicada en el área de Enseñanza de la Química basada en los estudios de Gaston Bachelard. Metodológicamente se caracteriza como una investigación cualitativa, descriptiva e interpretativa. Los primeros capítulos trabajan con las implicaciones de la historia y la epistemología de la ciencia, así como traen una visión general de los estudios de Bachelard, y los conceptos discutidos por el autor en la Enseñanza de la Química. Los capítulos finales presentan un análisis documental que presenta la definición del término concepto, destacando su pluralidad basada en los estudios de Taber (2019). Presentase un camino posible y probable para la construcción del concepto de enlaces químicos de Lewis, desde una visión epistemológica discutiendo algunos estudios que preceden a la proposición del autor. Los documentos no son tratados en orden "temporal", sino más bien por un análisis epistemológico basado en Bachelard. Por lo tanto, fue posible analizar los documentos para construir el camino de las ideas. La secuencia del estudio presenta la génesis del conocimiento científico propuesto por Lewis sobre los enlaces químicos y su construcción, las concepciones que siguieron en sus diferentes contextos y los cambios que ocurrieron a lo largo del tiempo, basándose principalmente en el análisis de tres artículos publicados por Lewis que describen sus estudios sobre los enlaces químicos. Así, cuando fue necesario poner fin a las relaciones del Concepto de Lewis presentes en la actual Escuela Secundaria, discutidas en las clases de química, fue posible establecer las relaciones con los niveles macroscópico, submicroscópico, simbólico y humano, que organizan el área de Enseñanza de la Química. Sugiriendo como posibilidad metodológica el uso de la propia propuesta de Lewis para la enseñanza de los enlaces químicos, como el uso de su modelo atómico cúbico, las discusiones de los enlaces químicos a partir de las propiedades de las sustancias y la estructura de la materia. Como resultado de la investigación, fue posible destacar la importancia de la historia y la epistemología para comprender la naturaleza del conocimiento científico, especialmente cuando se basa en los estudios de Bachelard, que se muestran con grandes potencialidades y aún están presentes en la actualidad. Los estudios de Lewis sobre enlaces químicos se desarrollaron a partir de conceptos existentes, demostrando que el conocimiento científico no es el resultado de un proceso de construcción histórica. El enlace iónico y el enlace covalente se están trabajando en la enseñanza de la química, pero la forma en que Lewis explica su teoría es originalmente demasiado pensada explica la atracción entre los átomos asociada con la formación de la regla del octeto. El modelo atómico propuesto por Lewis no se presenta en el aula, el modelo atómico de Bohr se usa comúnmente. Destacando estas características y debilidades de los procesos de enseñanza relacionados con los Enlaces Químicos puede colaborar con la formación del profesorado y la educación escolar de la disciplina de la escuela de química.

Palabras- clave: Conocimiento. Epistemología. Ciencia.

SILVA, Vitória Schiavon da. **Trajectory and construction of Gilbert Lewis concept of Chemical Bond: A discussion from Epistemology and Chemistry Teaching areas.** Supervisor: Bruno dos Santos Pastoriza. 2022. p.142. Thesis (Master's in Chemistry) - Graduate Program in Chemistry, Chemical, Pharmaceutical, and Food Sciences Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Abstract

The present work aims to understand how the construction of the concept of Chemical Bonds proposed by Gilbert Lewis, studied in contemporary high school, occurred. The study is developed through a historical and epistemological view, located in the area of Chemistry Teaching based on the studies of Gaston Bachelard. Methodologically it is characterized as a qualitative, descriptive and interpretive research. In the first chapters, it is possible to understand the implications of the history and epistemology of science, as well as to bring an overview of Bachelard's studies, and the concepts discussed by the author in the Teaching of Chemistry. The final chapters present a documentary analysis through the definition of the term concept, highlighting its plurality based on Taber's (2019) studies. A possible and probable path for the construction of Lewis's chemical bonds concept, from an epistemological view are presented discussing some studies that precede the author's proposition. It is important to highlight that the documents we did not necessarily seek in "temporal" order, but rather an epistemological analysis based on Bachelard. Therefore, it was possible to analyze the documents in order to build the path of ideas. In the sequence of study the genesis of the scientific knowledge proposed by Lewis regarding chemical bonds and their construction are presented with the conceptions that followed in their different contexts and the changes that occurred over time, based mainly on the analysis of three articles published by Lewis describing his studies on Chemical Bonds. Thus, when it was necessary to draw an end to the relationships of the Concept of Lewis present in the current High School, discussed in chemistry classes, it was possible to establish the relationships with the macroscopic, submicroscopic, symbolic and human levels, which organize the area of Chemistry Teaching. Suggesting as a methodological possibility the use of Lewis's own proposal for the teaching of Chemical Bonds, such as the use of its cubic atomic model, the discussions of chemical bonds from the properties of substances and structure of matter. As a result of the research, it was possible to highlight the importance of history and epistemology for understanding the nature of scientific knowledge, especially when based on Bachelard's studies, which are shown to be with great potential and still present today. Lewis's studies on chemical bonds developed from existing concepts, demonstrating that scientific knowledge is not the result of revelations, but of a complex historical construction process. The ionic bond and the covalent bond are being worked on in chemistry teaching, but the way Lewis explains his theory is originally overthought, explaining the attraction between atoms associated with the formation of the octet rule. The atomic model proposed by Lewis is not presented in the classroom, Bohr's atomic model is commonly used. Highlight the characteristics and limitations of the teaching process related to chemical bond can contribute to teacher formation and to chemistry teaching in schools.

Keywords: Knowledge. Epistemology. Science.

Lista de Figuras

Figura 1: Tabela de afinidade Geoffroy de 1718.....	69
Figura 2: (a) Desenho esquemático da Balança de Torção de Charles Augustin de Coulomb e (b) foto de protótipo real construído.	71
Figura 3: Representação gráfica dos isômeros geométricos previstos por Werner	80
Figura 4: Átomo de Carbono representado por Alfred Werner.....	82
Figura 5: representação de Alfred Werner da união entre os átomos de Carbono e Nitrogênio.....	83
Figura 6: Gilbert Newton Lewis jovem e o pesquisador com sua família	87
Figura 7: (a) Livreto de divulgação do prédio comandado por Lewis e (b) o grupo de pesquisa em frente ao prédio.....	90
Figura 8: Modelo de estrutura atômica proposto por Lewis.....	98
Figura 9: Acoplamento possível para o compartilhamento eletrônico, para a molécula não polar I ₂	100
Figura 10: As duas primeiras fileiras da tabela periódica, mostrando o modelo cúbico de Lewis para o átomo.	101
Figura 11: Formação da ligação dupla entre os átomos de oxigênio.....	101
Figura 12: Compostos e suas respectivas estruturas espaciais de acordo com o convencionalizado por Lewis.....	102
Figura 13: Representação da transformação do triângulo de Johnstone para o tetraedro de Mahaffy com ênfase no elemento humano.....	109

Lista de Quadros

Quadro 1: Textos pertencentes ao corpus de análise	32
Quadro 2: Apresentação dos autores que aparecem em dois artigos distintos.	36
Quadro 3: Revistas onde os artigos foram publicados.....	36
Quadro 4: Conceitos bachelardianos explicitamente abordados nos textos.	38
Quadro 5: Exemplos de alguns dos artigos publicados por Lewis entre os anos de 1905 a 1911	89

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Identificação da distribuição anual das publicações do corpus.	35
Gráfico 2: Contexto que foi desenvolvido de alguns artigos analisados.....	37
Gráfico 3: Obstáculos epistemológicos presentes nos artigos explicitamente. ...	41

Sumário

1	Introdução.....	15
2	Implicações da história e da epistemologia da Ciência no Ensino de Química 19	
2.1	História e a Epistemologia da Ciência: Contribuição para a formação docente.....	19
2.2	Considerações do Ensino de Química sobre a História e a Epistemologia da Ciência.....	24
2.3	O Ensino de Química, História e a Epistemologia da Ciência de Gaston Bachelard.....	27
3	Uma análise de revisão sobre os estudos a partir de Gaston Bachelard no Ensino de Química.....	29
3.1	Percurso metodológico	31
3.2	Resultados e discussões.....	32
3.2.1	Questões Quantitativas: Tendências a evidenciar	34
3.2.2	Questões Quali-Quantitativas: o quê de Bachelard tem circulado nas publicações.....	38
3.3	Considerações do processo de análise da revisão entre Bachelard e o Ensino de Química.....	49
4	Metodologia da Pesquisa.....	52
5	A História e a Epistemologia voltadas à investigação sobre os conceitos da Química com vistas ao Ensino de Química.....	55
5.1	A epistemologia do conceito: a noção de conceito como plural para diferentes conceitos	56
5.1.1	Como podemos definir um conceito?	57
5.1.2	Categorizando os conceitos químicos.....	59
5.1.3	Sobre conceitos e sua relação com modelos.....	62
5.2	Várias Ligações Químicas.....	64

6	Transformando fatos em ideias: o estudo epistemológico voltado à compreensão da construção do conceito de Ligações Químicas.....	67
6.1	Um início possível e um caminho provável	68
6.2	Lewis: a gênese de um novo conceito	86
6.2.1	Um histórico mais que breve, à guisa de contextualização	87
6.2.2	Discutindo algumas produções de Lewis: aspectos centrais das discussões sobre as Ligações Químicas.....	90
7	As Ligações Químicas no Ensino de Química.....	108
8	Considerações Finais desta Pesquisa de Mestrado	121
9	Referências.....	125

1 Introdução

Estudar sobre a construção de um conceito científico implica ao pesquisador atentar-se a discussões acerca da natureza das Ciências que marcaram o pensamento de diversos teóricos. Permite e exige relações epistemológicas e históricas para que seja possível descrever ou apresentar de uma forma coerente o desenvolvimento do pensamento científico. O estudo da natureza de um conceito passa por caminhos minuciosos que demandam o estudo e seleção de materiais históricos e atuais para análise, que possibilitem identificar os caminhos que culminaram para o interesse do cientista em determinado conceito (RAMOS, 2000; FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011).

Na literatura é existente a discussão da importância de estudos sobre a história e epistemologia de conceitos químicos no processo de ensino e de aprendizagem, como mostram os estudos de Bezerra e Silva (2001) e Vidal e Porto (2014). O estudo histórico e epistemológico do conceito permite associações com outros conceitos e sua organização interna na disciplina, ajudando o professor a entender a importância deste conceito, colaborando para uma seleção de conteúdos que de fato ajudam na construção do conhecimento químico. Entendemos que na Química alguns conceitos são considerados fundamentais, como o conceito de Ligações Químicas (LQ). Segundo Rodrigues, Silva e Pastoriza (2021, p. 2):

Assumindo o universo de conceitos e temas do campo da Química e do Ensino de Química, é possível apontarmos que os temas e conceitos centrados na discussão sobre Ligação Química contemplam grande centralidade e destaque nessa área e, assim, podem ser considerados como um dos conceitos fundamentais para a Química e para o Ensino de Química.

Neste sentido, a partir dessas discussões, nos propusemos a entender como ocorreu a construção do conceito de LQ proposto por Gilbert Lewis, estudado no Ensino Médio contemporâneo, tendo em vista a importância do conceito para o entendimento da Química e, deste modo, considerado como um conceito fundamental. Segundo Pazinato et al. (2021, p. 307) “A Ligação Química é a base para a compreensão da formação e do comportamento das substâncias presentes no cotidiano e é essencial para a continuidade do estudo da Química”. Mesmo que proposto no início do século XX, esse conceito se mostra ainda atual, presente na sala de Ensino Médio.

Para dar conta desse questionamento, entendemos que o conhecimento atual das ciências possui a capacidade de esclarecer o pensamento científico do passado e que a

história e epistemologia nos auxiliam nesse processo. Sendo assim, após esta introdução, o próximo capítulo desta dissertação apresenta um panorama das implicações da história e da epistemologia da Ciência no Ensino de Química. O capítulo apresenta inicialmente aspectos centrais e básicos de uma discussão necessária para que a compreensão da construção do conceito de LQ possa se desenvolver. Também é discutido sobre a história e a epistemologia na formação docente.

No terceiro capítulo, com o entendimento geral da importância da história e da epistemologia na Química, nos apropriamos da epistemologia de Gaston Bachelard para entendermos a relação da epistemologia com o Ensino de Química a partir de um ponto de vista mais específico, associado as concepções deste filósofo. Deste modo, desenvolvendo um estudo qualitativo e quantitativo a partir de uma revisão bibliográfica, esse estudo possibilitou a criação de um panorama e conhecimento de alguns conceitos trazidos pelo filósofo, cuja perspectiva analítica foi incorporada nesta dissertação.

Apoiados nas concepções de Gaston Bachelard compreendemos que a construção do conhecimento científico não se baseia na continuidade epistemológica; o conhecimento deve ser avaliado não em termos cumulativos, mas em termos de suas rupturas e retificações. Neste sentido, apresenta-se a necessidade de entender o próprio termo “conceito”, já que tratamos de um conceito químico empregado no ensino escolarizado da disciplina Química nesta dissertação. Bachelard explica que o conceito também é visto como ruptura epistemológica, quando se propõe um novo conceito, assim como foi feito por Lewis em relação à ligação do par compartilhado, que acabou inaugurando um novo sistema conceitual.

No capítulo quatro apresentamos a metodologia desenvolvida neste trabalho, uma vez que esta dissertação é marcada por uma divisão metodológica necessária e que ajuda no entendimento da proposta. O capítulo dois se consubstancia como um marco de localização teórica, enquanto o três apresenta um estudo de revisão teórica. Por terem uma proposta de localização, a organização metodológica da pesquisa se diferencia desses capítulos iniciais para os demais. Enquanto esses iniciais têm o foco na sustentação teórica da perspectiva desta dissertação, os capítulos que sucedem a metodologia se caracterizam como organizados no contexto de uma análise documental de perspectiva histórico-epistemológica.

No capítulo cinco destacamos a pluralidade da definição de conceito, particularmente com base nos estudos de Taber (2019), apresentando uma

categorização possível dos conceitos na área da Química. Além de trazer as diferenças entre a definição de modelo e conceito, definindo-os como propostas distintas, mas que podem se complementar no ensino de LQ. Para finalizar o capítulo, discutimos a variedade de conceitos existentes para as LQ, destacando que novas propostas surgiram a respeito das LQ. Ainda, entendendo as limitações da proposta de Lewis, discutimos suas definições no Ensino Médio contemporâneo.

Deste modo, entendendo a evolução do conceito, compreendemos que as verdades se mostram como não sendo absolutas e sim como uma retificação do erro e, desse modo, no capítulo seis são apresentadas as rupturas que antecedem a proposta de Lewis para as LQ e que colaboram de alguma forma para a proposição do novo conceito. De acordo com as perspectivas de Bachelard, discutimos as contribuições dos estudos anteriores a Lewis, na perspectiva das ideias, “inserindo-as num sistema de pensamento” (BACHELARD, 1996, p. 22). Nesse capítulo apresentamos estudos importantes, alguns que se mostram como ideias e hoje são vistos apenas como fatos, outros que ainda são entendidos na perspectiva das ideias, de qualquer forma, contribuíram para a construção do conceito de LQ. Bachelard explica que:

A resposta é muito mais nítida do que a pergunta, ou melhor, a resposta é dada antes que se esclareça a pergunta. [...] Veríamos que, no conhecimento vulgar, os fatos são muito precocemente implicados em razões. Do fato à ideia, o percurso é muito curto. A impressão é que basta considerar o fato (1996, p. 55).

Na segunda parte do capítulo seis apresentamos a gênese do conceito científico proposto por Lewis a respeito das LQ e sua construção, as concepções que se sucederam nos seus diferentes contextos e as modificações ocorridas ao longo do tempo relacionadas a fatores socioculturais, que originaram na publicação de três artigos que explicam sua proposta.

No capítulo sete conectamos as concepções históricas e epistemológicas da construção do conceito de LQ com o Ensino de Química do Ensino Médio atual. Destacamos nele as relações do conceito de Lewis aos níveis macroscópico, submicroscópico, simbólico e humano (TALANQUER, 2010; MAHAFFY, 2004) que fundamentam a área do Ensino de Química. Essa discussão sugere a utilização da própria proposta de Lewis no ensino, como por exemplo, a utilização do seu modelo cúbico do átomo, as concepções que partem das propriedades das substâncias, estrutura da matéria e utilização adequada da estrutura de Lewis.

Por fim apresentamos as considerações finais desta pesquisa de mestrado, abordando as conclusões que buscam responder o grande objetivo da pesquisa:

compreender a construção do conceito de LQ proposto por Lewis ensinado no Ensino Médio atual.

2 Implicações da história e da epistemologia da Ciência no Ensino de Química¹

Estudar sobre a história e a epistemologia da Ciência nos permite investigar episódios que nos ajudam a entender a constituição dos conhecimentos atuais. É comum ouvir que a história e a epistemologia nos ajudam a entender a natureza da Ciência, como é proposto por Moura (2014, p. 33):

Tem se destacado a importância da História e Filosofia da Ciência como uma das maneiras de promover uma melhor compreensão da natureza da Ciência, à medida que seus estudos historiográficos trazem elementos que subsidiam discussões acerca da gênese do conhecimento científico e os fatores internos e externos que a influenciam.

A epistemologia, enquanto um ramo, ou subdisciplina, da Filosofia é o estudo do conhecimento, sendo comum o emprego desta nas ciências, para de forma crítica estudar a natureza e seus princípios, bem como a validade e a abrangência de teorias científicas (MOREIRA e MASSONI, 2016). Como proposto por Moura (2014, p. 32):

A natureza da Ciência é entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas.

Sendo assim, na atualidade, muitos pesquisadores em Ensino de Ciências defendem o cunho pedagógico da história e a epistemologia da Ciência (MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; GUERRA, REIS e BRAGA, 2004; MARTINS, 2007). Levando em consideração a sua importância no processo de ensino e aprendizagem, é evidente, entre os autores citados, que abordar a história e a epistemologia em sala de aula não será a solução para todos os obstáculos presentes no Ensino de Ciências, mas sua inserção no ensino se mostra com grandes potencialidades.

2.1 História e a Epistemologia da Ciência: Contribuição para a formação docente

Estudos sobre a educação científica ocupam um espaço importante na sociedade, principalmente nos tempos atuais, pois, “por ocasião da pandemia de COVID-19, muito se tem falado em adotar ações ‘baseadas na ciência’ para evitar a propagação da

¹ Publicado parcialmente nos anais do XXIX Congresso Nacional e XXIV internacional de professores de Química, Uruguai/ Durazno, 2022, e publicado parcialmente no XXIV Encontro de Pós-Graduação, na 8^o Semana Integrada UFPel 2022.

doença” (DAVID e CORRÊA, 2020, p. 159). Ao mesmo tempo, percebe-se um grande descaso em relação ao Ensino de Ciências, à Ciência e à Educação no geral, como é possível ser evidenciado largamente em diversos veículos de comunicação^{2;3;4;5}. Essa contradição nos faz refletir sobre a importância do conhecimento científico e de conhecer sobre a natureza da ciência. Compreendendo que a educação científica “possibilita que alunos sejam capazes de identificar aspectos históricos, filosóficos, sociais e culturais das ciências” (DAMÁSIO e PEDUZZI, 2017, p. 3), destaca-se o espaço de sala de aula como uma possibilidade de discussão e reflexão sobre aspectos que envolvem a construção dos conceitos apresentados pelo professor, que tem relação com a vida cotidiana destes estudantes. Apesar da sala de aula não se limitar a esta definição, podendo apresentar uma abordagem mais ampla.

Nesse contexto, considera-se que um estudo mais aprofundado a respeito da História, Filosofia e Sociologia da Ciência nos currículos pode contribuir para a humanização do ensino de ciências e para uma mudança nas concepções simplistas sobre a Ciência para posições cognitiva, moral, cultural e contextualizada sobre esse tipo de conhecimento (LUFFIEGO *et al.*, 1994). “A história da Ciência desempenha um papel fundamental na compreensão da natureza do conhecimento científico que tem subjacente, a ideia de que a aprendizagem das ciências necessita ser acompanhada de uma aprendizagem sobre as ciências” (DUARTE, 2004, p. 319), o que pode viabilizar discussões sobre como as teorias atualmente aceitas evoluíram. Além disso, apresentar que os conhecimentos químicos são importantes, mas acompanhados de saberes sobre os conceitos são ainda mais potentes na aprendizagem, uma vez que possibilita a contextualização do saber discutido. Deste modo, Martins (1998, p. 18) ressalta que:

Mostrar, através de episódios históricos, o processo gradativo e lento de construção do conhecimento, permitindo que se tenha uma visão mais concreta da natureza real da ciência, seus métodos, suas limitações. Isso possibilitará a formação de um espírito crítico fazendo com que o conhecimento científico seja desmistificado sem, entretanto, ser destituído de valor.

²Notícia de 2019 veiculada em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/ministro-da-educacao-diz-que-universidades-federais-plantam-maconha/>>. Acesso em: ago. 2021.

³Notícia de 2020 veiculada em: <<https://www.metropoles.com/brasil/saude-br/movimento-antivacinas-cresce-na-internet-e-assusta-o-governo>>. Acesso em: ago. 2021.

⁴Notícia de 2020 veiculada em: <<https://jornal.usp.br/artigos/o-negacionismo-da-ciencia-compromete-o-futuro-do-brasil/>>. Acesso em: ago. 2021.

⁵Notícia de 2020 veiculada em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2020/09/corte-de-verbas-da-ciencia-prejudica-reacao-a-pandemia-e-desenvolvimento-do-pais>>. Acesso em: ago. 2021.

A história da Ciência e a filosofia da Ciência contribuem para entender as relações da Ciência com a tecnologia, com a cultura e com a sociedade. Destacando que essas relações são importantes para a construção de um aprendizado que faça sentido, na qual se compreende a Ciência na vivência cotidiana, tendo uma percepção do conhecimento científico para além do senso comum. Assim, Freire (2002, p. 15) destaca:

O crescimento dos estudos em história da ciência e filosofia da ciência, intensificado na segunda metade do século XX, respondeu tanto a necessidades estritamente intelectuais e conceituais, estas ligadas ao desenvolvimento de certas disciplinas, quanto a necessidades sociais, decorrentes de crescente influência que a ciência e a tecnologia passaram a ter nas sociedades contemporâneas.

Deste modo, ressaltando a importância da história e da epistemologia tanto para a compreensão das necessidades sociais, como também no entendimento da natureza dos conhecimentos científicos. Ramos (2000, p. 33) indica que:

O professor que tem uma postura epistemológica tem mais condições de discernir sobre um ensino mais adequado de um menos adequado, tem melhores condições de avaliar o processo de construção dos alunos e o próprio processo de ensino e tem mais chances de ter mais clareza sobre o significado de ensinar e de aprender ciências.

A importância da história e da epistemologia na formação de professores de ciências é discutida e pesquisada na área do Ensino através dos estudos de diversos autores, tais como Torres e Badillo (2007), Praia, Gil-Pérez e Vilches (2007), Cachapuz et al. (2005), Fourez (2003), Harres (1999), dentre outros. É de acordo entre esses autores que o conhecimento da epistemologia torna os professores capazes de compreenderem a Ciência que ensinam, ajudando-os na preparação e na organização de suas aulas, o que leva os autores a apontarem a importância da inclusão de disciplinas sobre história e a epistemologia nos currículos da formação inicial e continuada dos professores. Por exemplo, Matthews (1995, p. 165) aponta que a História e a Filosofia da Ciência podem “melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da Ciência mais rica e mais autêntica”. Sendo assim, discussões nesse âmbito tendem a:

Proporcionar mudanças nas concepções de professores e alunos não apenas no entendimento da própria ciência e sua construção histórica, mas no entendimento do currículo de ciências, migrando daqueles que se centram nos conteúdos conceituais que se seguem pela lógica interna da ciência para currículos que abarcam conceitos constitutivos. Ou seja, sobre o como da ciência, seu funcionamento interno, externo, a construção e produção do conhecimento nos diferentes tempos históricos (ciência antiga, moderna, pós-moderna) e as naturezas das comunidades científicas (LOGUERCIO e DELPINO, 2007, p. 73).

Na prática docente, é importante que o professor reflita constantemente sobre suas concepções de ensino e aprendizagem. Nesse processo, o embasamento histórico e filosófico dos conteúdos é fundamental para construção dos conhecimentos dos estudantes. Esse processo de análise faz relação com a epistemologia docente, como é destacado por Ramos (2000, p. 32):

Quando um sujeito analisa, estuda e pensa, criticamente, sobre o (seu) conhecimento acerca de alguma coisa, no sentido de buscar a consciência de como aquele conhecimento foi e continua sendo construído, qual sua validade, qual foi seu processo histórico, o porquê desde conhecer e outros, estes sujeitos estão fazendo uma reflexão epistemológica e apresentam uma postura epistemológica.

Essa discussão acerca da história e da epistemologia da Ciência permeia vários campos da atuação docente, um deles colabora para encontrar a resposta para uma das perguntas mais importantes para no processo de ensino e aprendizagem, que apresenta um significado para o estudante e um propósito para o professor: *por que ensinamos determinado conteúdo?* Pérez Gómez (2001, p. 195) assume “que para cumprir sua função pedagógica com relativa autonomia, o docente deve estar atento, enfrentar e superar em si mesmo e na cultura da escola os influxos meramente reprodutores da dinâmica social”. A concretização dessas ideias exige do educador a capacidade de compreender seu papel como profissional capaz de discernir quais conteúdos são importantes para serem discutidos com os estudantes em sala de aula.

Como é destacado por Becker (1993), os critérios epistemológicos bem como outros pontos, têm orientado os professores em sua prática, como no processo de seleção de conteúdo. Do mesmo modo, Oki e Moradillo (2008, p. 69) ressaltam que a “inclusão da História da Ciência no ensino tem razões que se fundamentam na Filosofia e Epistemologia e a própria concepção de Ciência adotada interfere na seleção e abordagem dos conteúdos”. Dessa forma, Duarte (2004, p. 318) aponta qual poderia ser o objetivo dos professores:

O objetivo de formar “futuros cientistas” (revelar talentos ou despertar vocações), perseguido durante décadas pelo ensino escolar das ciências, passa agora para o de formar cidadãos capazes de estabelecer uma relação crítica com a ciência e a tecnologia, mas também conhecedores da História da Ciência.

Essa análise permite ao professor entender sua prática e demonstrar a busca pela compreensão da natureza dos conteúdos, mas para isso é necessária uma autoavaliação contínua e profunda. Essa prática pode tornar o professor mais seguro e confiante para ministrar suas aulas, uma vez que compreendendo alguns aspectos do

conceito, o professor pode aprofundar seus conhecimentos por meio da história e a epistemologia da ciência. Moura (2014, p. 41) destaca:

A História e Filosofia da Ciência formam um caminho possível para a discussão de natureza da Ciência, porque evidenciam os meandros da construção do conhecimento científico, contextualizando a Ciência. Estudar a História e Filosofia da Ciência é compreender as origens das ideias científicas e as diversas influências sofridas e exercidas por ela.

Deste modo, tendo a consciência que os conceitos científicos foram desenvolvidos e compreendidos ao longo da história, assumimos que o conceito é histórico. Por consequência, é importante que juntamente com a explicação dos conceitos científicos abordados em sala de aula, também seja discutida sua construção histórica, para que o ensino de Ciência não se fragmente em apenas uma parte, assim, permitindo uma aprendizagem mais avançada sobre a natureza dos conceitos ensinados na escola. Matthews (1994) defende a utilização de uma abordagem histórica no ensino na medida em que esta:

1. Desperta o interesse dos alunos;
2. Humaniza os conteúdos;
3. Proporciona uma melhor compreensão dos conteúdos científicos mostrando seu desenvolvimento e evolução;
4. Tem valor intrínseco a compreensão de episódios cruciais na história da ciência, como o darwinismo, por exemplo;
5. Demonstra que a ciência é mutável e dinâmica e que, conseqüentemente, o conhecimento científico atual é suscetível de ser transformado; o que 6. Desta maneira, combate a teologia cientificista; e finalmente 7. A história permite o conhecimento mais rico do método científico e mostra as fases de mudança das metodologias aceitas (p. 259).

Abordar a história da Ciência é importante para a vida dos estudantes, como é apontado por Saito (2013, p. 192), pois a “História da Ciência pode contribuir na preparação dos alunos para que eles possam formular questões epistemológicas importantes para compreender a natureza da ciência”. Por esse motivo, reforça-se a importância de o docente compreender o papel da história e da epistemologia no processo de ensino e aprendizagem, o que permite entender a natureza do conceito, assim como outros aspectos didáticos podem colaborar para distinguir quais conceitos científicos devem estar presentes no currículo escolar.

Ainda, as discussões relacionadas à associação entre a prática docente e a epistemologia da Ciência são apontadas por Praia, Cachapuz e Gil-Pérez (2002) como empírico-indutivista, o que traz uma visão de uma Ciência formada de etapas inflexíveis não como algo adaptável, focado principalmente em elaborar proposições a partir da natureza. Se pensarmos nesse contexto em sala de aula de Química, podemos apontar as aulas experimentais, por exemplo, onde por muitas vezes sua função é observar, anotar, tirar suas conclusões, enaltecendo o produto do conhecimento científico, tendo

uma visão distorcida sobre o cientista, como um ser com uma inteligência sobre-humana, sem perceber a influência do contexto sociocultural (LÔBO e MORADILLO, 2003). Neste contexto, na sequência tratamos da história e a epistemologia no Ensino de Química.

2.2 Considerações do Ensino de Química sobre a História e a Epistemologia da Ciência

Esta seção tem como objetivo explorar as potencialidades de aproximação entre história e a epistemologia da Ciência com o Ensino de Química. Isso, pois, “nos estudos de didática das ciências, atualmente existe um reconhecimento generalizado que a formação em filosofia e história da Ciência deveria ser um dos componentes fundamentais da alfabetização científica geral da população” (LOGUERCIO e DEL PINO, 2006, p. 68).

O debate epistemológico relativo à natureza do conhecimento científico/químico e a sua construção histórica nos permite compreender sobre o ensino, e tratar da história e da epistemologia da Química possibilita o entendimento de teorias; abordando os contextos históricos nos quais os conceitos químicos foram construídos e posteriormente modificados em função de outros estudos. Quando um conceito ou dado conteúdo é tratado de forma sucinta, desprezando a sua complexidade de origem e as incertezas de sua construção, perde-se de vista um contexto importante de ser tratado em sala de aula: a ideia de que a Química não é algo estático, pronto e acabado. Como aponta Pinheiro et. al (2015, p. 2):

A História da Ciência na sala de aula permite que o estudante perceba que os cientistas nem sempre acertam, que existem controvérsias e rupturas na produção do conhecimento científico e que o conhecimento é dinâmico e pode mudar. Isso permite que a ciência não seja apresentada como algo dogmático e perfeito.

Assim, é importante pensar sobre o papel do professor de Química nesse processo. Duarte (2004, p. 324) afirma que esses entendimentos “trazem mais uma vez para o centro dos problemas educativos a formação de professores, colocando fortes desafios a todos aqueles que acreditam que de nada serve mudar currículos se não houver mudanças nos professores que os implementam”. Alguns pesquisadores destacam que a história da Ciência pode auxiliar os professores a antecipar as concepções trazidas pelos estudantes (WANDERSEE, 1995) ou até mesmo compreender as dificuldades dos estudantes referentes aos conceitos trabalhados em sala de aula (BENSEGHIR e CLOSSET, 1996; GAGLIARDI e GIORDAN, 1988) e

também questões metodológicas (PEREZ e ALIS, 1985) e, neste sentido, possibilitando a busca por estratégias que possam superar as dificuldades dos estudantes.

Outros autores estudam e apresentam concepções sobre a história e a epistemologia no Ensino de Química destacando a formação dos professores, como Duarte (2004), Loguercio e Del Pino (2006), Pastoriza (2015) e Sangiogo e Pieper (2020), apontando que essas discussões possivelmente podem “contribuir para modificar suas concepções sobre Ciência, método científico, construção do conhecimento científico, minimizando problemas do Ensino de Química, como o dogmatismo, a historicidade e a metodologia de ensino” (LOGUERCIO e DEL PINO, 2006, p. 69). Sendo assim, ressalta-se a importância do estudo da história e a epistemologia estar presente na formação de professores de Química, uma vez que esses profissionais estarão em sala de aula e poderão abordar os conceitos entendendo a sua relevância na compreensão da Química. Pinheiro et al. (2015, p. 2) marcam que:

Subsidiar o ensino de ciências com aspectos históricos e filosóficos significa que, além de ensinar ciências, devemos ensinar sobre ciências, o que inclui a discussão da atividade científica, sua complexidade, sua aplicação e elaboração nas diversas dimensões do contexto sócio-histórico: ético, político, filosófico, tecnológico, dentre outros.

Deste modo, para ter uma visão panorâmica da Química é necessário compreender a diversidade de partes que a compõem, é importante levar em consideração que não é só o conhecimento científico sobre o conceito que é relevante, saber sobre aspectos históricos e epistemológicos nos permite levar para a sala de aula de Química temas atuais e relevantes para o ensino e para a sociedade como um todo, como por exemplo, questões étnico-raciais, gênero e diversidade e questões ambientais.

A história epistemológica da Química perpassa por esses temas, como demonstram alguns autores em suas discussões realizadas a partir de artigos, que foram publicados em revistas importantes para o campo de Ensino de Química, como os trabalhos Harding (2007), Coelho e Campos (2015), Sousa et al. (2019), Silva e Pinheiro (2018), Beltran e Klautau (2020) e Pereira, Santana e Brandão (2019). Esses artigos, assim como outros que não foram citados aqui, demonstram que a Química se constitui a partir de conceitos, leis, teorias e fórmulas, mas que ao longo de sua construção em contexto sócio-histórico traz temas que constituem a sociedade. Como é destacada por Kauffman (1979), a formação do químico sem a inclusão da história e da epistemologia permanece insatisfatória e incompleta. Portanto, existem muitos cursos de formação de professores com a disciplina de história e a epistemologia da Química que, juntamente

com os estudos de conceitos químicos poderia contribuir para a superação da superficialidade que por vezes os conceitos são abordados. É compreensível que nem sempre será possível tratar de conceitos químicos junto com questões históricas e epistemológicas, mas entendemos, de outro modo, que essa escolha seria mais apropriada do que a simples menção de acontecimentos, datas, autores ou artigos.

Logo, Oki e Moradillo (2008, p. 81) enfatizam que “existe o reconhecimento de que os estudantes de Ciência possuem não somente teorias e conceitos distorcidos sobre algumas matérias específicas estudadas, como também concepções epistemológicas ingênuas e equivocadas, que precisam ser repensadas”. Uma maneira de rever essa situação é abordar o ensino “sobre” as ciências, trazendo concepções acerca da natureza do conhecimento científico, por exemplo, considerando-o, deste modo, tão importante quanto o ensino “de” ciências.

Na literatura existem alguns trabalhos que descrevem práticas desenvolvidas com estudantes que relacionaram a história e epistemologia com o Ensino de Química (SOUZA e JUSTI, 2012; POMBO e LAMBACH, 2015; REZENDE, FERREIRA e QUEIROZ, 2010; REIS, KIOURANIS e SILVEIRA, 2015), nesses artigos são apresentadas algumas atividades didáticas desenvolvidas com os estudantes de Ensino Médio ao Ensino Superior e são apontadas as contribuições dessas discussões para o aprendizado dos estudantes. Considerando os trabalhos apresentados, pode-se afirmar que, na literatura especializada, são diversos os artigos que vêm abordando este assunto, contribuindo para que tenhamos um tema de pesquisa e atuação definido no contexto educacional atual.

Investigações sobre a história e a epistemologia, concepções de Ensino de Ciência e Ensino de Química suscitaram a escrita deste texto. No intuito de compreender de forma mais aprofundada a construção do conhecimento científico e sua ação no processo didático. Portanto, procuramos a partir da obra de Gaston Bachelard contribuições para um diálogo entre a epistemologia que estuda a produção do conhecimento científico e o ensino de ciências e Química, ou seja, possibilidades e implicações de sua obra e contribuições para o entendimento das formas de construção de conhecimento. Sendo assim, na próxima seção trazemos uma breve abordagem a respeito de algumas concepções de Gaston Bachelard, que ajudará nas discussões deste trabalho, uma vez que o autor argumenta sobre a construção dos conhecimentos científicos, trazendo questões históricas e epistemológicas pertinentes.

2.3 O Ensino de Química, História e a Epistemologia da Ciência de Gaston Bachelard

Escolhemos o ponto de vista epistemológico do filósofo das ciências francês Gaston Bachelard para fundamentar a discussão a ser realizada sobre a construção do conhecimento científico. Gaston Bachelard, importante epistemólogo do início do século XX, entendia a complexidade da construção científica, não podendo ser confundida com o senso comum, contribuiu intensamente com o desenvolvimento do Ensino da Química (LOPES, 1998). As concepções de Gaston Bachelard estão entre as mais mencionadas pelos pesquisadores em educação, mesmo entre aqueles preocupados em atualizar as visões de Ciência predominantes entre professores e estudantes (BELTRAN e SAITO, 2012).

Bachelard (1996) destaca que a produção da Ciência deve estar ligada com o novo espírito científico, “o homem movido pelo espírito científico deseja saber, mas para, imediatamente, melhor questionar” (p. 21). Nesta fala de Bachelard é assumida a importância da postura investigativa, de sempre questionar e ir em busca de novos saberes, principalmente quando temos a noção de que a Química ao longo de sua história se constitui a partir de muitos indivíduos, que se permitiram duvidar das teorias apresentadas e a partir destas dúvidas buscar estudos que constituiriam os saberes contemporâneos. Para Bachelard (1971, p. 209):

O historiador da ciência, para bem julgar o passado, deve conhecer o presente; deve aprender o melhor possível a ciência cuja história se propõe escrever. E é aqui que a história das ciências, quer se queira quer não, tem uma forte ligação com a atualidade da ciência.

Com Bachelard, a construção do conhecimento se dá através de rupturas, sendo uma das principais aquela entre conhecimento do senso comum e científico (BACHELARD, 1977). Conforme Bachelard (1971, p. 18), “[...] as ciências físicas e químicas, no seu desenvolvimento contemporâneo, podem ser caracterizadas epistemologicamente como domínios de pensamento que rompem nitidamente o conhecimento vulgar”. Essa ruptura, dita por Bachelard, com o senso comum, é considerada fundamental para a construção do espírito científico. Para o autor o senso comum não é confiável para a formação dos saberes científicos.

A não ruptura do conhecimento vulgar ou também chamado de conhecimento do senso comum poderia acarretar no que Bachelard definiu como obstáculo epistemológico. Segundo Bachelard (1996, p. 17), não se tratam de "obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a

fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentsidões e conflitos". Os obstáculos denominados por Bachelard (1996), passíveis de ocorrerem no processo de construção do espírito científico, foram denominados por ele como experiência primeira, conhecimento geral, verbal, animista, substancialista, conhecimento unitário e pragmático, os quais seriam as causas da estagnação do pensamento, no regresso do saber científico, os quais serão abordados pelo professor. Para Bachelard (1996, p. 21) "a noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação". Deste modo, é importante que os obstáculos sejam identificados e assim o professor consiga desenvolver metodologias que possam superá-los.

Quando analisamos a literatura, percebemos que o Ensino de Química é marcado pela presença de obstáculos epistemológicos, levando em consideração que a disciplina de Química se caracteriza pela sua linguagem própria e conceitos abstratos, que apresentadas aos estudantes podem gerar certa confusão. Essas limitações estão relacionadas com as dificuldades de abstração de conceitos, elaboração e compreensão de modelos científicos e o surgimento de concepções alternativas (SANTOS e MELO, 2012). Para reverter essa situação é comum os professores buscarem estratégias, como a experimentação, analogias, formas gerais de explicação, metáforas, imagens, modelos, entre outras, que podem acarretar em obstáculos epistemológicos para os estudantes, como demonstra os estudos de Guerra et al. (2019), Duarte (2004), Pena e Mesquita (2018) e Silva (2016).

Lopes (1996, p. 252) aponta "a importância da obra de Bachelard para professores e pesquisadores em ensino de ciências é inegável. Nós, químicos e físicos, temos à disposição, inclusive, livros de Bachelard". Além disso, Bachelard também atuou como professor de Química, trazendo sua colaboração desta forma.

Tal é a importância de Bachelard que no próximo capítulo nos dedicamos a analisar, num estudo de revisão, seu impacto nas discussões produzidas pelo campo do Ensino de Ciências, especialmente o de Química.

3 Uma análise de revisão sobre os estudos a partir de Gaston Bachelard no Ensino de Química⁶

Entender a importância da história e da epistemologia nos ajuda a compreender muito sobre a ciência. Isso, pois, o “conhecimento não é o resultado de mentes isoladas ou gênios, trata-se de práticas coletivas, processos aos quais fatores sociais amplos e complexos são inerentes” (OLARTE, 2004, p. 135). Ou seja, o conhecimento científico é resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social, fruto de estudos desenvolvidos que colaboram para os entendimentos que temos na atualidade sobre a ciência.

Matthews (1995) ressalta que a história das ciências possibilita a compreensão de como e em que circunstâncias ocorreram a construção de um determinado conhecimento, em um dado período histórico. Igualmente, destaca que a filosofia das ciências permitiria reconhecer as questões epistemológicas, pois a epistemologia é uma das vias da filosofia em que estão implicados os problemas científicos. A história da Ciência e a filosofia da Ciência contribuem para entender as relações da Ciência com a tecnologia, com a cultura e com a sociedade. Essas relações são importantes para a construção de um aprendizado que faça sentido, que permita a compreensão de uma Ciência na vivência cotidiana, de uma percepção do conhecimento científico para além do senso comum. Assim, Freire (2002, p. 15) destaca:

O crescimento dos estudos em história da ciência e filosofia da ciência, intensificado na segunda metade do século XX, respondeu tanto a necessidades estritamente intelectuais e conceituais, estas ligadas ao desenvolvimento de certas disciplinas, quanto a necessidades sociais, decorrentes de crescente influência que a ciência e a tecnologia passaram a ter nas sociedades contemporâneas.

Desse modo, ressaltando a importância da história e da epistemologia tanto para a compreensão das necessidades sociais, como também no entendimento da natureza dos conhecimentos científicos, abordar a história da Ciência é importante para a vida dos estudantes. Nesse sentido, Saito (2013, p. 192) aponta que a “História da Ciência pode contribuir na preparação dos alunos para que eles possam formular questões epistemológicas importantes para compreender a natureza da ciência”. Por esse motivo,

⁶ Este texto foi publicado na revista REDEQUIM, v. 8 n. 2 (2022): Especial 40º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química, p.70-80.

destaca-se a relevância do docente compreender o papel da história e da epistemologia no processo de ensino e aprendizagem, o que permite entender a natureza do conceito, assim como outros aspectos didáticos que podem colaborar para distinguir quais conceitos científicos devem estar presentes no currículo escolar. A partir do entendimento da natureza do conceito, compreendemos suas relações com outros conceitos e sua importância no entendimento da Química. Essas reflexões são importantes quando o professor estabelece os conteúdos que serão abordados em sala de aula.

Assim, este capítulo tem por objetivo evidenciar os resultados de um estudo de revisão dos artigos disponíveis no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Scientific Electronic Library Online (SciELO) que, focados no campo da história, da epistemologia e do Ensino de Química, tenham sido desenvolvidos a partir das contribuições de Gaston Bachelard.

Os critérios para a busca foram organizados no sentido de responder à seguinte questão: Quais os usos e apropriações da epistemologia de Bachelard no campo da história, da epistemologia e principalmente no Ensino de Química? Esse autor, renomado epistemólogo do início do século XX, que atuou tanto na docência da Química e da Física, quanto na construção filosófica e epistemológica dessas áreas, contribuiu intensamente com questões que, posteriormente, impulsionaram o desenvolvimento do Ensino da Química (LOPES, 1998), principalmente a partir da constituição da área internacional e nacionalmente, por volta dos anos 1960 e 1980, respectivamente (SCHNETZLER, 2002; BALDINATO e PORTO, 2015).

Bachelard se torna ainda mais importante neste estudo uma vez que traz concepções a respeito da formação do espírito científico que possibilita aos pesquisadores da área do Ensino fazerem adaptações destas concepções para entender a construção dos conhecimentos sobre a Química, sua história e a epistemologia. Desse modo, realizar uma revisão bibliográfica de produções que mobilizam as discussões desse autor se coloca como uma forma de analisar tanto as tendências, quanto os focos de discussões dos temas e conceitos trazidos por esse autor. As concepções de Gaston Bachelard estão entre as mais mencionadas pelos pesquisadores em educação, mesmo entre aqueles preocupados em atualizar as visões de Ciência predominantes entre professores e estudantes (BELTRAN e SAITO, 2012). Desse modo, em última instância, a revisão permite analisar a permeabilidade de suas discussões e, sobre tais dados,

construir um panorama dos usos e apropriações da epistemologia de Bachelard no Ensino de Química. Por meio disso, esta proposta contribui para as discussões no campo da história e da epistemologia no contexto do Ensino de Química.

3.1 *Percurso metodológico*

A pesquisa se caracteriza como uma Revisão da Literatura. Trentini e Paim (1999, p. 68) afirmam que “a seleção criteriosa de uma revisão de literatura pertinente ao problema significa familiarizar-se com textos e, por eles, reconhecer os autores e o que eles estudam anteriormente sobre o problema a ser estudado”. No presente trabalho realizamos uma investigação nos centrado nos aspectos quantitativos e qualitativos dos textos analisados.

Os repositórios de busca utilizados foram o Portal de Periódico CAPES e SciELO. Para a realização da pesquisa nas plataformas digitais aplicamos os seguintes termos de busca, também traduzidos para o inglês, o espanhol e utilizados junto a caracteres booleanos. Assim, pesquisamos por meio da seguinte combinação: Bachelard AND ((Ensino de Química) OR (Educação Química) OR (Epistemologia) OR (História e Filosofia da Ciência) OR (Química)). Os trabalhos foram selecionados de acordo com o título, resumo e palavras-chave presentes no texto, de modo que não bastou necessariamente aparecer o termo “Bachelard”, mas se buscou textos que pudessem de algum modo, discutir, mesmo que minimamente, algum aspecto do autor e/ou suas produções. Contemplaram aqueles em português, inglês e espanhol, tendo em vista que a utilização de uma variação linguística possibilita o encontro de um número maior de materiais para análise. O recorte estabelecido nas buscas selecionou como materiais de análise apenas artigos de revistas, desde que analisados por pares, e que sejam voltados ou relacionados com o Ensino de Química, por conta do foco do estudo.

A análise desses materiais selecionados foi quantitativa e qualitativa, com o objetivo de identificar: i) o idioma das publicações; ii) anos das publicações; iii) palavras-chave mais utilizadas; iv) autores dos textos; v) revistas que publicam textos com esse foco temática e referencial; vi) o contexto em que foram realizadas as pesquisas, no sentido de assumi-los como teóricos ou empíricos; vii) o objeto ou sujeito da pesquisa; e viii) como as concepções de Bachelard eram abordadas nos artigos. Desses critérios de análise, desenvolvidos por meio de estudos dos autores e legitimação dos dados pelo grupo, destaca-se que os itens i a vii são sistematizados especialmente de modo

quantitativo, enquanto o item viii desenvolve-se pela via da análise qualitativa, mais especificamente a análise de conteúdo. O método do processo de análise de conteúdo consiste basicamente em cinco etapas: i. Preparação das informações; ii. Unitarização ou transformação do conteúdo em unidades; iii. Categorização ou classificação das unidades em categorias; iv. Descrição e v. interpretação (MORAES, 1999). Sendo assim, no processo de análise desenvolvida neste trabalho, foi realizada uma análise individual dos dados, posteriormente comparada e analisada. Desta forma, fazem-se presentes os critérios de credibilidade, confirmabilidade, dependência, validade crítica e transferibilidade, como apontam os trabalhos de Hurtado (2006), Denzin e Lincoln (2000) e Olabuénaga (2009).

3.2 Resultados e discussões

A pesquisa inicial pôde selecionar um total de 376 artigos. Desses, foram analisados quais tinham relação com o Ensino de Química, refinando o corpus da pesquisa para 26 artigos (~6,9% da amostra original) para a análise quantitativa e qualitativa apresentada neste trabalho. O baixo número de textos pode ser atribuído a vários fatores, tais como: as inúmeras revistas nas quais se publicam as discussões a partir desse referencial não serem indexadas no sistema buscado; os textos até citarem, mas não desenvolverem uma argumentação sobre/com o autor; os termos de busca terem sido limitantes da investigação; dentre outros. De todo o modo, segundo os critérios adotados, evidencia-se que a baixa quantidade de textos não impede sua análise qualitativa, haja vista que um dos objetivos propostos circula sobre o que se diz a partir de/com Bachelard nas pesquisas. Desse modo, os textos selecionados encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1: Textos pertencentes ao corpus de análise

Código do texto	Referência do Texto Analisado
T1	Bensaude-Vincent, B. (2005). Chemistry in the French tradition of philosophy of science: Duhem, Meyerson, Metzger and Bachelard. <i>Studies in History and Philosophy of Science</i> , 36, 627-648.
T2	Lôbo, S. F. (2007). O Ensino de Química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. <i>Ciência & Educação</i> , 14(1), 89-100.
T3	Mortimer, E. F. (1997). Para além das fronteiras da Química: relações entre filosofia, psicologia e Ensino de Química. <i>Química Nova</i> , 20(2), 200-207.
T4	Taber, K. (2003). The Atom in the Chemistry Curriculum: Fundamental Concept, Teaching Model or Epistemological Obstacle? <i>Foundations of Chemistry</i> , 5(1), 43-84.
T5	Lôbo, S. F. (2012). O trabalho experimental no Ensino de Química. <i>Química Nova</i> , 35(2), 430-434.

T6	Simon, J. (2012). The production of purity as the production of knowledge. <i>Foundations of Chemistry</i> , 83-96.
T7	Ribeiro, M. A., & Pereira, D. C. (2013). Constitutive Pluralism of Chemistry: Thought Planning, Curriculum, Epistemological and Didactic Orientations. <i>Science & Education</i> , 1809-1837.
T8	Laszlo, P. (2013). Towards Teaching Chemistry as a Language. <i>Science & Education</i> , 1669-1706.
T9	Chamizo, J. A. (2018). About continuity and rupture in the history of chemistry: the fourth chemical revolution (1945–1966). <i>Foundations of Chemistry</i> , 11-29.
T10	Chamizo, J. A. (2017). The fifth chemical revolution: 1973–1999. <i>Foundations of Chemistry</i> , 157-179.
T11	Amaral, E. M., Silva, J. R., & Sabino, J. D. (2018). Analysing processes of conceptualization for students in lessons on substance from the emergence of conceptual profile zones. <i>Chemistry Education Research and Practice</i> , 19, 1010-1028.
T12	Pabuccu, A., & Erduran, S. (2016). Investigating students' engagement in epistemic and narrative practices of chemistry in the context of a story on gas behavior. <i>Chemistry Education Research and Practice</i> , 17, 523-531.
T13	Soares, E. d., Viçosa, C. S., Taha, M. S., & Folmer, V. (2017). A presença do lúdico no ensino dos modelos atômicos e sua Contribuição no processo de ensino aprendizagem. <i>Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias</i> , 12(2), 60-80.
T14	Klein, U. (2012). Objects of inquiry in classical chemistry: material substances. <i>Foundations of Chemistry</i> , 7-23.
T15	Cokelez, A. (2012). Junior High School Students' Ideas about the Shape and Size of the Atom. <i>Research in Science Education</i> , 673-686.
T16	Chang, H., Nordmann, A., Bensaude-Vincent, B., & Simon, J. (2010). Ask not what philosophy can do for chemistry, but what chemistry can do for philosophy. <i>Metascience</i> , 373-383.
T17	Botez, C. (2012). Contiguous spaces of remembrance in identity writing: chemistry, fiction and the autobiographic question in Primo Levi's The Periodic Table. <i>European Review of History: Revue européenne d'histoire</i> , 19(5), 711-727.
T18	Blancafort, A. M. (2012). Las actividades de los libros de texto de Química para la teoría corpuscular y su contribución a la evolución de los modelos explicativos. <i>Estudios Pedagógicos</i> , 181-196.
T19	Stadler, J. P., Júnior, F. S., Gebara, J., Gonçalves, F. R., & Hussein, S. (2012). Análise de obstáculos epistemológicos em livros didáticos de Química do Ensino Médio do pnd 2012. <i>Holos</i> , 2, 234-243.
T20	Reis, J. M., Kiouranis, N. M., & Marcelo. (2017). Um Olhar para o Conceito de Átomo: Contribuições da Epistemologia de Bachelard. <i>Alexandria: Revista de Educação em Ciências e Tecnologia</i> , 10(1), 3-26.
T21	Santos, D. M., & Nagashima, L. A. (2015). La epistemologia de gaston bachelard y sus contribuciones a la enseñanza de la Química. <i>Revista Paradigma</i> , XXXVI(2), 37-48.
T22	Ferreira, L. M., & Peduzzi, L. O. (2014). As Intuições Atomísticas de Bachelard. <i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i> , 14(3), 119-137.
T23	Guerra, M. H., Vasconcelos, A. K., Sampaio, C. d., & Saldanha, G. C. (2019). Ensaio sobre os Obstáculos Epistemológicos presentes em estratégias metodológicas no Ensino de Química, uma revisão da bibliografia. <i>Research, Society and Development</i> , 8(7), 1-15.
T24	Bertomeu-Sánchez, J. R. (2015). Chemistry, microscopy and smell: bloodstains and nineteenth-century legal medicine. <i>Annals of Science</i> , 72(4), 490-516.

T25	Trimarchi, M., Manzelli, P., & Eaton, J. (1987). Observations and Remarks on The Concept of Chemical Communication and the Integration of Sciences. <i>Ecologista</i> , 259-270.
T26	Martins, R. d. (2019). Émile Meyerson and mass conservation in chemical reactions: a priori expectations versus experimental tests. <i>Foundations of Chemistry</i> , 21, 109-124.

Fonte: Autores

Da análise realizada, para melhor organizá-la, nas subseções abaixo apontamos os elementos quantitativos e qualitativos para, nas considerações finais, articulá-los no sentido de discutir as contribuições deste estudo de revisão.

3.2.1 *Questões Quantitativas: Tendências a evidenciar*

Em relação ao idioma dos artigos, foi possível evidenciar que 65% apresentavam seu texto em inglês, enquanto 31% em português, e apenas 3% em espanhol. Alcadipani (2017, p. 405) explica que “o Scientific Electronic Library Online (SciELO), principal indexador de periódicos do Brasil, exige que todas as revistas científicas que fazem parte de sua base tenham, cada vez mais, textos publicados em inglês”. Isso pode indicar uma demanda por facilidade de acesso, busca e análise, já que a língua inglesa pode ser considerada praticamente como padrão, quando referido aos trabalhos de nível internacional. Mur-Dueñas (2012, p. 403) destaca que o “inglês tornou-se a língua predominante para disseminação de novos conhecimentos acadêmicos”. O número de trabalhos em português também se mostrou com um valor significativo, Santos e Porto (2013, p. 1573) destacam que:

Programas de pós-graduação específicos em História da Ciência surgiram no Brasil apenas na década de 1990, e atualmente existem vários programas que reúnem pesquisadores das áreas de História, Filosofia e Ensino de Química, em profícua interação.

Desta forma, ainda que significativamente em menor quantidade do que em relação a textos publicados em língua inglesa, é possível sugerir que futuramente pode existir um número maior de artigos publicados em português, uma vez que os estudos sobre história e a epistemologia vêm se desenvolvendo em nosso país, principalmente por meio da criação de programas de pós-graduação voltados à temática da História e da Filosofia da Ciência. Esse possível crescimento de publicação em língua portuguesa também se associa à tendência do quantitativo de trabalhos evidenciada. De acordo com a análise, os trabalhos publicados na articulação entre as discussões bachelardianas e

o Ensino de Química permite evidenciar um esforço e sugerir uma tendência de crescimento (gráfico 1). Aproximadamente a partir do ano de 2015 as publicações vêm apresentando uma oscilação que pode colaborar para seu aumento com o passar dos anos.

Gráfico 1: Identificação da distribuição anual das publicações do corpus.



Fonte: Autores.

Quando analisamos as palavras-chave, em termos quantitativos, identificaram-se 70 delas, sendo que a maior parte não se repete. Ou seja, há palavras-chave que estão presentes em um artigo e não estão em nenhum outro, mesmo que ambos abordem o mesmo assunto. Apenas 4 palavras se repetem em dois artigos distintos, sendo elas: Bachelard, *Chemical Revolution*, *Chemistry*, Ensino de Química. Os prováveis motivos para a pluralidade de termos-chave utilizados nas pesquisas são muitos, mas, a partir da pesquisa de Oliveira et al. (2020), no contexto da Ciência da Informação, pode-se atribuir tal variabilidade e dificuldade de padronização por conta da falta de orientações específicas dos periódicos no que diz respeito a esse item. Para esses autores e sua pesquisa, “na maioria dos periódicos científicos analisados, não há orientação de qualquer ordem, sequer sinalizando para a utilização de linguagem natural com extração de termos do próprio texto” (OLIVEIRA, FUJITA, et al., 2020, p. 165).

Voltando-se ao quesito “autoria”, a partir dos 26 artigos surgiu o total de 49 autores, havendo na maioria a contribuição de mais de um autor. Escrita colaborativa é muito comum no mundo acadêmico, uma vez que a proposta para escrita de um artigo pode surgir de um grupo de pesquisa ou até mesmo da parceria do estudante com seu professor orientador. Outro ponto que pode ser destacado é que a grande maioria dos autores (e seus colaboradores) tem a publicação de um artigo apenas, sendo que somente quatro autores aparecem em dois artigos distintos, conforme se vê no quadro abaixo.

Quadro 2: Apresentação dos autores que aparecem em dois artigos distintos.

Nome dos Autores	Artigo	Ano da publicação
Bernadette Bensaude-Vincent	T1	2005
	T16	2010
Jonathan Simon	T6	2012
	T16	2010
José A. Chamizo	T10	2017
	T9	2019
Soraia Freaza Lôbo	T2	2008
	T5	2012

Fonte: Autores.

Segundo Serra, Fiates e Ferreira (2008, p. 35), “os artigos publicados em revistas científicas são por excelência os meios pelos quais a comunidade científica divulga e agrega conhecimento a uma determinada área”. Deste modo, analisamos em quais revistas foram publicados os 26 artigos analisados neste trabalho (quadro 3). A revista que se destaca com maior número de publicações, com o total de seis trabalhos, é a *Foundations of Chemistry*. Esta revista costuma publicar três edições anuais, é revisada por pares e aborda questões conceituais e fundamentais relacionadas à Química, atuando destacadamente no campo da filosofia da Química e suas interrelações com áreas correlatas como História da Química e Educação em Química. Outras três revistas possuem a publicação de dois artigos cada, as revistas: *Chemistry Education Research and Practice*, *Química Nova* e *Science & Education*.

Quadro 3: Revistas onde os artigos foram publicados.

Nome da Revista	Número de Textos
Foundations of Chemistry	6
Science & Education	2
Química Nova	2
Chemistry Education Research and Practice	2
The Environmentalist	1
Studies in History and Philosophy of Science	1
Revista Paradigma	1
Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias	1
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1
Research, Society and Development	1
Research in Science Education	1
Metascience	1

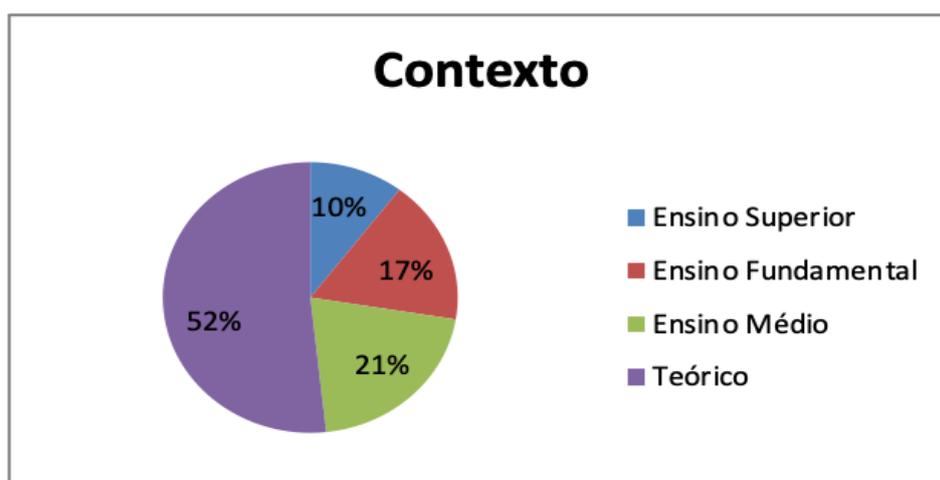
Fonte: Autores.

A análise das revistas evidencia uma grande abrangência de aceitação das discussões que partem ou se relacionam à epistemologia de Bachelard. Desse grupo de revistas analisadas, evidencia-se que tanto aquelas centradas no campo da filosofia da Química (a exemplo da *Foundations of Chemistry*) até revistas que têm por mote a discussão no Ensino de Ciências em geral (como a *Ciência & Educação*) são receptivas à mobilização de discussões com aportes bachelardianos, o que pode indicar, por um lado, a atualidade e potência das propostas desse autor e, por outro, a dispersão possível de tanto encontrar quanto submeter trabalhos vinculados ou relacionados às suas ideias em diferentes periódicos.

Quando analisados o objeto e o sujeito de estudo, na maioria dos artigos, cerca de 52%, tem-se um objeto de discussão abstrato, como, por exemplo, metodologias de ensino (T5, T13), história (T1, T9, T10) e conceito químico (T14). O restante (48%) se divide em estudos que assumem como objetos elementos materiais e sujeitos específicos de pesquisa, como o livro didático (T18, T19), formação de professores (T2, T23) e estudantes (T15, T4, T12).

Analisando ainda o contexto em que as pesquisas foram desenvolvidas, evidencia-se que além do objeto de discussão abstrato, a maioria se caracteriza como uma pesquisa teórica, tendo por objetivo final conhecer ou aprofundar conhecimentos e discussões que não ocorrem de modo aplicado com sujeitos, conceitos pensados para situações específicas ou materiais determinados a analisar (BARROS e LEHFELD, 2000). Os objetos, elementos materiais e sujeitos foram pesquisados no contexto escolar, em diferentes níveis de ensino como é apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2: Contexto que foi desenvolvido de alguns artigos analisados.



Fonte: Autores.

Neste caso, parece que o estudo da história e da epistemologia de Bachelard relacionado com o Ensino de Química é abordado majoritariamente de forma teórica. Já as pesquisas que têm a sala de aula de Ensino Médio, Superior ou Fundamental como instrumento de coleta de dados apresentam uma percentagem fragmentada, não destacando um nível de Ensino de forma acentuada, o que pode indicar que no Ensino de Química os estudos sobre a história e a epistemologia de Bachelard estão presentes em todos os níveis de ensino de forma equivalente, não destacando um nível de forma unânime.

3.2.2 Questões Quali-Quantitativas: o quê de Bachelard tem circulado nas publicações

Considerando uma análise qualitativa dos resultados obtidos, buscamos nos artigos como se apresentavam as discussões de Bachelard, de forma explícita ou a partir de noções e discussões gerais. Nos artigos os quais abordavam as discussões de Bachelard de forma explícita se destacaram as concepções sobre: obstáculos epistemológicos, perfil epistemológico e fenomenotécnica, como se observa no quadro 4, abaixo.

Quadro 4: Conceitos bachelardianos explicitamente abordados nos textos.

Conceito	Textos
Obstáculos Epistemológicos	T1, T4, T5, T7, T14, T19, T20, T21, T22, T23, T24
Perfil Epistemológico	T2, T3, T4, T5, T11, T20, T21, T22,
Fenomenotécnica	T1, T7, T20

Fonte: Autores

Os textos T6, T8, T9, T10, T12, T13, T15, T16, T17 e T18 não discutem explicitamente nenhum conceito, mas apenas citam algum elemento ou outro de Bachelard. No sentido de melhor compreender essas distribuições, explicitamos abaixo cada categorização qualitativa realizada.

Presente em 44% dos trabalhos, a noção dos obstáculos epistemológicos é o elemento mais centralmente utilizado da discussão de Bachelard entre os textos. Em seu texto publicado em 1938, intitulado *A formação do espírito científico*, Bachelard realiza um processo de discussão e problematização de uma “psicanálise” do conhecimento objetivo de seu tempo e afirma que, no processo de produção desse conhecimento, há uma série de obstáculos que são produzidos. Segundo o autor:

Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega à convicção de que é em termos de obstáculos que o problema do

conhecimento científico deve ser colocado. E não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidão e conflitos. (...) No fundo, o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização. (BACHELARD, 1996, p. 17)

Sendo um texto escrito por um autor já maduro (54 anos de idade) e já reconhecido por obras anteriores, como *Ensaio sobre o conhecimento aproximado* (de 1927, sua tese de doutorado) (BACHELARD, 2004), *O pluralismo coerente da Química moderna* (de 1932) (BACHELARD, 2009), *O novo espírito científico* (de 1936) (BACHELARD, 2000), dentre outros, *A formação do espírito científico* marca uma discussão epistemológica fortemente aproximável de uma discussão pedagógica. Nesse processo, por meio de suas críticas às etapas usuais de produção do conhecimento objetivo (reificado, científico), o autor cita em diversas passagens pequenas (mas profundas) críticas à escola, tais como:

[...] Tal método crítico exige uma atitude expectante quase tão prudente em relação ao conhecido quanto ao desconhecido, sempre alerta diante dos conhecimentos habituais, sem muito respeito pelas verdades escolares (BACHELARD, 1996, p. 15).

[...] pode-se com certeza dizer que uma cabeça bem feita é infelizmente uma cabeça fechada. É um produto de escola (BACHELARD, 1996, p. 20).

Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto a ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana (BACHELARD, 1996, p. 23).

Não se deve, contudo, exagerar o valor dos esforços especificamente escolares. De fato, como o observam Von Monakow e Mourgue, na escola, o ambiente jovem é mais formador que o velho; os colegas, mais importantes do que os professores (BACHELARD, 1996, p. 299).

Pela epistemologia de Bachelard se pode dizer que a construção do conhecimento e seus obstáculos epistemológicos são inerentes, de modo que tanto a produção da Ciência em si, quanto seus processos iniciais de discussão e ruptura com o senso comum devem ser analisados. Ainda que não realize uma discussão pedagógica, haja vista que em suas discussões Bachelard não propõe inovações no campo de princípios, metodologias ou estratégias didáticas (COSTA, 2015), seus apontamentos citam elementos do campo educacional no sentido de uma análise e crítica aos seus componentes e processos. Da epistemologia de *A formação do espírito científico* à inserção na Educação em Ciências, ainda que havendo uma distância, bem como

contextualizações e adequações a realizar, observa-se a grande aceitação e referência de suas discussões numa relação com o campo educacional. Nesse processo, a discussão dos obstáculos epistemológicos é assumida tanto em uma relação geral quanto na especificidade de alguns obstáculos apontados por Bachelard, como a *experiência primeira*, *obstáculo verbal*, *obstáculo substancialista*, *obstáculo realista* e o *obstáculo animista* (BACHELARD, 1996).

Em termos da apropriação geral, em T4 se procura discutir porque os estudantes adquirem ideias sobre átomos que são diferentes das compreensões científicas atuais, de modo que os autores relacionam as concepções adversas dos estudantes sobre átomo à produção de obstáculos epistemológicos. Em T20 os obstáculos epistemológicos também são citados, mas não relacionados diretamente com o conceito de modelo atômico que estava sendo discutido no texto, mas sim como elemento teórico de fundamentação da abordagem da pesquisa. Já em T22 é possível evidenciar uma discussão sobre a obra de Bachelard intitulada *Les Intuitions Atomistiques*. Contudo, no desenvolvimento do texto, os autores apontam os obstáculos epistemológicos como um dos conceitos mais conhecidos pelos educadores e, desse modo, esse conceito serve como elemento de discussão inicial na introdução do artigo.

Os textos T7 e T14 mencionam em seu desenvolvimento os obstáculos epistemológicos, mas não como discussão principal ou com grande relevância. T7 discute sobre a elaboração da disciplina de “didática da Química” oferecida na Universidade do Porto, em Portugal, destacando no texto que a principal relação didática é com os obstáculos epistemológicos e conceituais, principalmente relacionados à problemática do micro-macro. T14 disserta sobre o conceito de substância, buscando entender se o conceito está de fato no primeiro plano dos estudos na Química clássica por meio de uma análise da história de Química. Os obstáculos epistemológicos surgem no texto quando o autor argumenta sobre a resolução de problemas enfrentada por químicos relacionados aos seus estudos de substâncias, associando a superação dos obstáculos com a superação desses problemas.

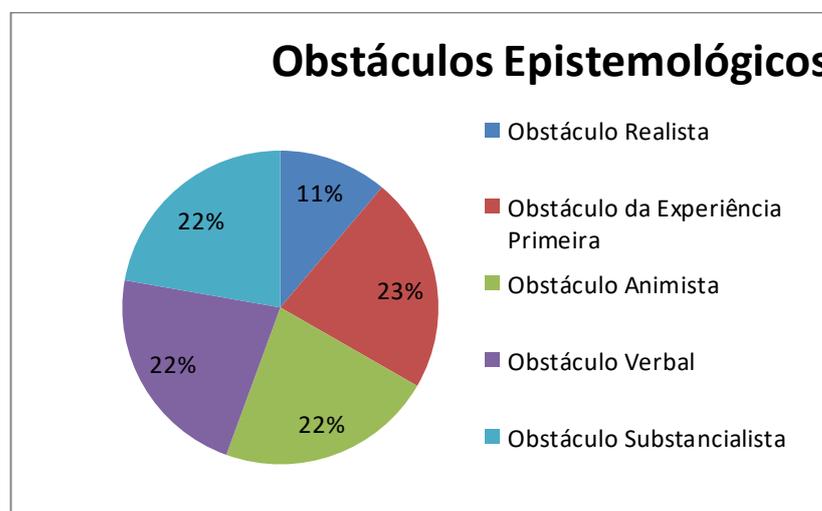
Já com uma proposta mais inserida num contexto que mobiliza mais elementos didáticos e pedagógicos voltados a questões de estratégias de ensino, T19, T21 e T23 também abordam explicitamente o conceito de obstáculo epistemológico. O texto T19 realiza uma análise em livros didáticos de Química do Ensino Médio do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do ano 2012, e identifica os possíveis obstáculos

epistemológicos presentes. Como é destacado por Miranda e Araújo (2012, p. 1) "este tipo de análise se torna relevante devido à utilização abrangente do livro didático, já que uma forma distorcida de se expor o conteúdo pode ocasionar diversos problemas para a aprendizagem". Sendo assim, uma análise do livro evidencia os obstáculos, colaborando para que os estudantes tenham uma aprendizagem de qualidade.

Como foi evidenciado nos artigos analisados, por vezes alguns autores costumam mencionar cada um dos obstáculos descritos por Bachelard de forma mais específica, como se evidencia nos textos T21 e T23. Este traz uma análise bibliográfica discutindo sobre metodologias no Ensino de Química desenvolvidas por discentes com intenção de colaborar no processo de ensino e aprendizagem e que acabam potencializando a formação de obstáculos epistemológicos. Os autores discutem cada um dos obstáculos apontados por Bachelard que podem aparecer nas aulas de Química do Ensino Médio. Já T21 traz algumas reflexões a respeito da história e a epistemologia de Gaston Bachelard relacionadas ao Ensino de Química e a formação de professores. De seus apontamentos os obstáculos epistemológicos são inseridos na discussão de forma abrangente, de modo que os autores trazem as discussões de Bachelard, a definição do conceito e também destacam cada um dos obstáculos apontados por Bachelard.

De modo mais particular ainda, algumas pesquisas enfatizam determinados obstáculos em suas problematizações. Os obstáculos específicos presentes nos artigos analisados foram: obstáculo realista, obstáculo da experiência primeira, obstáculo substancialista, obstáculo verbal e obstáculo animista. Sua distribuição entre os textos está exposta no gráfico 3.

Gráfico 3: Obstáculos epistemológicos presentes nos artigos explicitamente.



Fonte: Autores.

T5 traz as discussões a respeito dos obstáculos epistemológicos associados à experimentação, sendo que os autores alegam que para Bachelard “a Ciência opõe-se à opinião, ao dado imediato, àquilo que aparece aos sentidos, de forma que ela é o primeiro obstáculo epistemológico a ser superado” (T5, p. 432). Essa discussão surge no texto pelos autores evidenciarem que a observação no ensino sem uma problematização, distante do referencial teórico e sem interrogações para o surgimento de hipóteses se torna propícia ao desenvolvimento de obstáculos epistemológicos. Mesmo não citado explicitamente, da discussão entende-se que os autores falam do obstáculo da experiência primeira. Nesse mesmo foco, T22 e T23 também abordaram o obstáculo da experiência primeira. Uma vez que este obstáculo está ligado com a imagem, com o diferente e colorido que acaba chamando a atenção e que, porém, é uma contemplação sem problematização e questionamento. A contemplação sem problematização se torna simplesmente uma observação ligeira de um fenômeno, não contribuindo para a construção do espírito científico. Bachelard (1996, p. 29) descreve que “na formação do espírito científico, o primeiro obstáculo epistemológico é a experiência primeira, a experiência colocada antes e acima da crítica [...] Já que a crítica não pode intervir de modo explícito, a experiência primeira não constitui, de forma alguma, uma base segura”. Os autores de T22 descrevem um pouco sobre esse obstáculo, e argumentam que a experiência primeira é uma das principais discussões das obras de Bachelard. Já no artigo T23, como foi realizada uma análise bibliográfica, é feita uma discussão sobre este obstáculo, destacando sua presença nas estratégias metodológicas no Ensino de Química.

De modo distinto, T24 apresenta três métodos de detecção de manchas de sangue durante a primeira metade do século XIX na França, e usa as concepções de Bachelard a respeito dos obstáculos epistemológicos para discutir sobre o sentido do olfato. Segundo os autores, Bachelard descreve os odores como uma das fontes do substancialismo, considerado como um obstáculo pelo filósofo. No estudo desenvolvido pelos autores, em alguns momentos essa substancialização do odor não foi considerada como um obstáculo epistemológico e sim colaborou para detectar manchas de sangue.

O artigo T19 traz em suas discussões o obstáculo realista, no qual a mente passa a ter uma visão realista do que é na verdade abstrato e objeto de criação. Como é descrito por Bachelard, esta noção é tão persistente que:

O realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantagem. Para aquilatá-lo, é preciso ultrapassar o plano intelectual

e compreender que a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal. Apossa-se dela espiritualmente como se toma posse de uma vantagem evidente. Siga a argumentação de um realista; imediatamente ele está em vantagem sobre o adversário porque tem, acha ele, o real do seu lado, porque possui a riqueza do real, ao passo que seu adversário, um pródigo do espírito, persegue sonhos vãos. Em sua forma ingênua, em sua forma afetiva, a certeza do realista provém de uma alegria avarenta (BACHELARD, 1996, p. 139).

Essa descrição feita pelo autor demonstra que essa alegria avarenta não colabora para a construção do espírito científico. Essa fixação pelo real se dá até os dias atuais, tornando-se um obstáculo epistemológico presente no processo de ensino e aprendizagem. No texto T19 os autores corroboram com essas colocações, citando o caso do átomo como um exemplo de obstáculo realista presente no Ensino de Química, uma vez que os livros didáticos fazem uma alusão ao átomo como se pudéssemos tocá-lo ou vê-lo a olho nu.

Os textos T19 e T23 abordam mais de um obstáculo, como: obstáculo animista, verbal e substancialista. No contexto desses estudos, o obstáculo animista pode acontecer em sala de aula quando o professor dá características de seres vivos para conceitos abstratos. Sobre o tema, Bachelard (1996, p. 191) argumenta que a “vida é uma palavra mágica. É uma palavra valorizada. Qualquer outro princípio esmaece quando se pode invocar um princípio vital”. Em T19 os autores descrevem que a partir da análise feita em livros didáticos, nenhuma obra apresentou o obstáculo animista, o que os autores descrevem ser resultado de uma preocupação com a explicação correta dos conceitos. Em T23 os autores descrevem o obstáculo animista e apresentam sua presença em livros didáticos e em sala de aula, ressaltando as dificuldades que os estudantes encontram quando se deparam com esse obstáculo no processo de aprendizagem.

O obstáculo verbal aponta a interferência do discurso, da palavra ou da imagem na compreensão do conceito, uma vez que é comum no Ensino de Química o uso de metáforas, analogias e imagens. Bachelard (1996, p. 101) destaca que “o perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem”. Deste modo, se ressalta a importância do professor entender que uso dessas estratégias pode levar os estudantes a ter uma compreensão do conceito de forma equivocada. No texto T19 os autores ressaltam que a maior parte dos obstáculos presentes nos livros didáticos analisados foi o verbal, o que se justifica pelo fato dos autores dos livros tentarem simplificar termos científicos ou abstratos. No

texto T23 também é associado o uso de analogias, metáforas, expressões e imagem a construção do obstáculo verbal, validando as concepções de Bachelard. Ainda sobre o obstáculo substancialista, Bachelard (1996, p. 121) aponta que:

O obstáculo substancialista, como todos os obstáculos epistemológicos, é polimorfo. É constituído por intuições muito dispersas e até opostas. Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico condensa num objeto todos os conhecimentos em que esse objeto desempenha um papel, sem se preocupar com a hierarquia dos papéis empíricos. Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta.

Considerando as concepções de Bachelard, o texto T19 aponta conceitos químicos que por vezes são explicados de forma a potencializar a formação dos obstáculos epistemológicos substancialistas, trazendo exemplos deste obstáculo em livros didáticos de Química. Os autores ressaltam que o substancialismo surge como uma tentativa de relacionar os conceitos científicos de maneira simplificada, a fim de facilitar o entendimento do fenômeno pelo estudante. No texto T23 os autores falam sobre esse obstáculo destacando o conceito de ácido e base, apontando o risco do substancialismo, quando se define o conceito, sendo que é argumentado pelos autores que na realidade não há uma definição fixa classificatória de uma substância ácida ou básica, mas quando se comparam os reagentes.

Ainda, o artigo T23 apresenta uma noção geral de obstáculo epistemológico, chamado de conhecimento geral. Essa definição poderia ser descrita como simplificação do conhecimento científico, quando se aborda vários conceitos de forma confusa a partir da visão de um primeiro momento, tendo uma aceitação desinteressada do conceito. Segundo Bachelard:

Há de fato um perigoso prazer intelectual na generalização apressada e fácil. [...] A busca apressada da generalização leva muitas vezes a generalidades mal colocadas. [...] é possível constatar que essas leis gerais bloqueiam atualmente as ideias. Respondem de modo global, ou melhor, respondem sem que haja perguntas. [...] Então, tudo fica claro; tudo fica identificado (BACHELARD, 1996, p. 84).

Esta noção geral de obstáculos epistemológicos trazidos pelos autores é vista por Bachelard como capaz de impossibilitar o estudante de questionar e investigar, impedindo o desenvolvimento do espírito científico. No artigo T23 os autores apontam que o conhecimento geral “sempre será um fracasso do empirismo inventivo, levando muitas vezes a generalidades mal colocadas, sem fundamentação teórica” (2019, p. 6). Ratificando as concepções de Bachelard.

Outro conceito de Bachelard que foi discutido de forma explícita nos artigos analisados foi de perfil epistemológico. No livro *A Filosofia do Não*, Bachelard traz discussões a respeito desse conceito. Essa obra de Bachelard ficou marcada pelas roturas no decorrer do próprio desenvolvimento científico, como aponta Lopes (1996, p. 226). Apoiada nas concepções de Bachelard a autora diz que “não existe um contínuo racional na história do conhecimento científico: a Física Relativística diz não à Física Newtoniana, a Geometria de Lobatchevsky diz não à Geometria Euclidiana, a Química Quântica diz não à Química Lavoisieriana”. Essa concepção de Bachelard envolve a rejeição de certezas e saberes já estabelecidos, inclusive aqueles que de tão instituídos já se tornaram irrecusáveis, trazendo a noção da Ciência como um estudo em evolução e construção e não como algo estático, viabilizando a aproximação entre a experiência e a razão. Segundo Castelão-Lawless (2012, p. 24):

(...) para Bachelard as revoluções científicas também são revoluções conceptuais. Se os cientistas não compreendem ou não aceitam por inteiro os novos sentidos de termos familiares, ou o sentido verdadeiro dos novos termos, então até os próprios conceitos em ciência acabam por originar resistências à mudança na razão dos cientistas.

Neste sentido, a mudança dos fenômenos exige também uma mudança conceitual. Na Química, assim como nas demais Ciências, o conceito é dinâmico de acordo com as experiências atuais. Em conformidade com a epistemologia de Bachelard a construção do espírito científico se dá por meio de rupturas entendendo que os erros são mais importantes do que as verdades, o erro se torna a ser o propulsor do conhecimento, porque leva o conhecimento a mudanças e correções.

Deste modo, o filósofo defende, no processo de realização de uma psicanálise do conhecimento, a noção de perfil epistemológico como uma soma de saberes que cada indivíduo possui sobre um determinado conceito e que está relacionado com a evolução filosófica desse indivíduo (PAZINATO *et al.*, 2021). Nas proposições de Bachelard, o perfil traçado no contexto de sua proposição poderia ser organizado de um realismo ingênuo, ao racionalismo discursivo, passando pelo empirismo, racionalismo clássico e completo. Bachelard (1978, p. 25) aponta:

Nestas condições, parece-nos que uma psicologia do espírito científico deveria esboçar aquilo a que chamaremos o perfil epistemológico das diversas conceptualizações. Seria através de um tal perfil mental que poderia medir-se a ação psicológica efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento.

Deste modo, os artigos T4, T20 e T22 mais uma vez se relacionam, por falarem de perfil epistemológico e do conceito de átomo. O artigo T4 argumenta sobre a

construção do perfil epistemológico dos estudantes para compreender a sua evolução conceitual a respeito das concepções sobre o átomo, e apontam que “para Bachelard o perfil epistemológico representa a evidência de obstáculos epistemológicos, que atuaram historicamente” (T4, p. 71). No artigo T20 o conceito de perfil epistemológico é citado rapidamente, sem uma discussão mais aprofundada. Os autores mencionam o conceito enquanto argumentam sobre as noções de rupturas trazidas por Bachelard. Neste artigo, apesar de mencionado o conceito explicitamente, sobre ele não é realizada uma problematização maior. O texto T22 já na introdução cita o perfil epistemológico, destacando como um dos conceitos importantes de Bachelard, e no decorrer do texto comenta mais sobre o conceito. Ele explicita que, de acordo com a proposta de Bachelard, o perfil epistemológico foi desenvolvido a partir da evolução epistemológica acerca do conceito de massa, analisando como o conceito evoluiu, inicialmente com concepções mais realistas até arranjos mais abstratos e matematicamente sofisticados.

Os textos T3, T5, T11 e T21 também trazem discussões sobre o conceito de perfil epistemológico, desta vez, mais relacionados ao Ensino de Química. É comum na literatura o uso do perfil epistemológico para compreender sobre a construção de conhecimentos químicos, como mostra os trabalhos de Melo e Amantes (2021), Dorigon et al. (2019), Cedran e Filho (2015). Sendo assim, os textos T3 e T11 trazem as concepções de perfil epistemológico de Bachelard, mas seu foco é o perfil conceitual proposto por Mortimer (1995; 1994). A ideia de perfil conceitual é inspirada pela de perfil epistemológico de Bachelard. Ainda que Mortimer (1995; 1994) discuta as diferenças da noção de perfil conceitual para o de perfil epistemológico, centrando-se no argumento em questões ontológicas que, segundo o pesquisador, não seriam abordadas por Bachelard, é possível dizer que tal argumento surge de uma interpretação do pesquisador – a qual pode receber contra-argumentações por meio da leitura da obra bachelardiana. Todavia haja possibilidades de divergências teóricas, é inegável a expressão e abrangência que a proposta de perfil conceitual recebeu no campo da Educação em Ciências, nacional e internacionalmente (FREIRE, TALANQUER e AMARAL, 2019; GONZALEZ e LARA, 2020; JÚNIOR, SILVA e AMARAL, 2015). Nesse processo de emprego da questão do perfil conceitual e da sua relação com o perfil epistemológico, em T3 é abordada a construção de um perfil conceitual para molécula e estrutura molecular, já no texto T11 o foco é no conceito de substância. No texto T5, os autores demonstram a partir dos resultados da pesquisa uma grande dispersão nas

concepções de professores e estudantes a respeito do trabalho experimental no ensino. No trabalho, trouxeram para discussão a noção de “perfil de concepções”, que foi inspirada nas concepções de Bachelard sobre perfil epistemológico e do perfil conceitual de Mortimer (1994; 1995). Já o texto T21 destaca que as concepções de perfil epistemológico têm sido estudadas por Mortimer de forma bem original e que o conceito de perfil epistemológico tem colaborado para o Ensino de Química, principalmente em nível Fundamental e Médio, sobretudo quando baseado na história da Química. Nessa perspectiva, ele tem ajudado a superar o ensino dogmático, considerado pelos autores ainda predominante nas escolas. Por fim, ainda sobre o emprego do perfil epistemológico, T2 apresenta alguns conceitos da epistemologia bachelardiana, e os insere em questões que têm sido, atualmente, discutidas para o ensino e a formação do professor.

Outro conceito explicitamente presente nas pesquisas investigadas é o conceito de fenomenotécnica, apresentado por Bachelard por volta das décadas de 1920 e 1930, nas obras *A Formação do Espírito Científico* e *O Novo Espírito Científico* (SISSON e WINOGRAD, 2012). Apontado em T1, T7 e T20, com a fenomenotécnica se discute que teorias e experimentos se tornam inseparáveis (CASTELAO-LAWLESS, 1995). Bachelard (1977, p. 137) diz:

É preciso haver outros conceitos além dos conceitos “visuais” para montar uma técnica de agir cientificamente no mundo e para promover à existência, mediante uma fenomenotécnica, fenômenos que não estão naturalmente na natureza. Só por uma desmaterialização da experiência comum se pode atingir um realismo da técnica científica.

Sendo assim, no artigo T1 se descreve que a Química contribuiu para a fenomenotécnica de Bachelard, destacando que a partir do estudo do filósofo percebeu-se a importância da aproximação entre a técnica e a teoria, afirmando que a partir dos estudos de Bachelard na Química ele percebe que só os conhecimentos teóricos não são suficientes para o entendimento da natureza. O artigo T7 colabora com as discussões trazidas pelo artigo T1, e direciona essas concepções para o Ensino de Química, destacando que o ensino descritivo de Química era considerado ineficaz e, atualmente, principalmente após a reforma curricular dos anos 1960 que promoveu o ensino por redescoberta, a dimensão dominante passou a ser a dimensão fenomenotécnica, com ênfase nos instrumentos. O artigo T20 discute a fenomenotécnica relacionada ao conceito de modelo atômico, destacando no texto que os átomos são

construídos fenomenotecnicamente, ou seja, as concepções são construídas por meio de experimentos e técnicas realizadas.

Outros conceitos de Bachelard também apareceram, mas em apenas um artigo, tais como: *pluralismo epistemológico, polaridade epistemológica, materialismo racional, ruptura e vigilância epistemológica*.

Como anteriormente mencionado, foi possível analisar em nossa pesquisa que alguns artigos abordam as discussões de Bachelard e seus conceitos de forma explícita, mas também foi possível evidenciar textos que se apropriam das discussões do autor que, todavia, não citam algum conceito em específico. O artigo T14 é um exemplo desse caso. Ele trata de concepções históricas, epistemológicas e metodológicas a respeito do conceito de substância. Bachelard aparece na discussão uma única vez, a partir de uma citação indireta, onde o autor aponta que:

O argumento meta-epistemológico de Bachelard, que se apoia em sua noção de obstáculo epistemológico, equivale a especulações sobre a resolução de problemas dos químicos frente ao fato de estudarem uma pluralidade de substâncias e ao mesmo tempo destacarem tipos de substâncias (T14, p. 123).

Numa situação análoga, o texto T11 e o T3 têm sua discussão principal na noção de perfil conceitual, a partir de Mortimer (1995). Bachelard é usado como referência uma vez que Mortimer baseou-se nas concepções de obstáculos epistemológicos para suas reflexões a respeito de sua teoria, chamada de perfil conceitual. A diferença entre os textos é que no T11 se discute sobre a construção do perfil conceitual para substâncias, enquanto no texto T3 o perfil conceitual é para o conceito de molécula e estrutura molecular. Todavia o foco na proposição de Mortimer, é inegável e presente nas reflexões as contribuições da noção de perfil epistemológico de Bachelard, como destacado acima.

Alguns textos analisados têm suas discussões mais voltadas para questões históricas e filosóficas da Química e da ciência, como é o caso dos textos T9, T10 e T12. Lopes (1993, p. 327) destaca que “a história da ciência deve estar presente no ensino, fortalecendo o pensamento científico pela colocação das lutas entre ideias e fatos que constituíram o progresso do conhecimento”. Nos textos T9 e T10 discute-se a quarta e quinta revolução Química, fundamentalmente caracterizadas pela incorporação de novos instrumentos nas práticas químicas e também caracterizadas por uma profunda transformação no próprio cerne da Química. Bachelard aparece como referência no sentido de assegurar a discussão feita pelo autor. Não existe nenhuma discussão a respeito de seu papel nesta revolução ou discussões sobre seus conceitos.

Os artigos T12, T13 e T18 trazem discussões a respeito de métodos e metodologias que podem ser utilizadas nas aulas de Química. O artigo T12 investigou o envolvimento de estudantes do Ensino Médio em práticas epistêmicas e narrativas da Química no contexto de uma história de Química sobre o comportamento de gases. Bachelard foi citado apenas uma vez, quando os autores problematizam sobre a importância do questionamento em trabalhos de grupo, apontando que para Bachelard quando duas pessoas querem se entender, elas devem se contradizer, o que para os autores não aconteceu no grupo de estudantes que foi analisado. O texto T13 busca identificar as contribuições de atividades lúdicas para a aprendizagem dos estudantes. Os autores também citam Bachelard apenas uma vez, relacionando o uso de atividades lúdicas com uma possível ruptura entre o conhecimento cotidiano trazido pelo estudante e os conhecimentos científicos. No texto T18 é realizada uma análise no livro didático de Química atentando-se para teoria corpuscular, sendo assim, Bachelard é mencionado quando se argumenta sobre a construção do conhecimento dos estudantes, analisando como a natureza do assunto evolui com a idade e experiência escolar. Segundo os autores, Bachelard acredita que essa evolução é difícil e, em contraponto, problematizam que essa evolução não é tão difícil como descreve Bachelard.

O texto T15 tem por objetivo analisar as concepções dos estudantes sobre o tamanho do átomo e acompanhar esta evolução durante dois anos. Bachelard aparece na discussão quando os autores argumentam sobre a diferença entre o conceito de modelagem e o conceito de analogia. Trazem as contribuições de Bachelard para ratificar as discussões que estavam sendo feitas, de que um conceito é diferente do outro. Já o artigo T8 argumenta a favor de uma linguagem própria da Química e a importância disso no ensino. Deste modo os autores destacam a importância da ruptura epistemológica entre experiência cotidiana e a experiência científica, o que são concepções bachelardianas.

3.3 Considerações do processo de análise da revisão entre Bachelard e o Ensino de Química

Face aos resultados obtidos nesta pesquisa, é possível dizer que os estudos sobre Bachelard no Ensino de Química seguem se desenvolvendo e contribuindo com a área.

No processo de análise, foi possível evidenciar que a língua inglesa tem maior adesão pelas publicações, haja vista seu maior quantitativo. Todavia, as publicações em

língua portuguesa foram expressivas ao longo da busca. Cabe ressaltar que os termos indutores foram traduzidos e combinados para as línguas inglesa, portuguesa e espanhola, de modo que o retorno dessas publicações no quantitativo analisado aponta para essa presença, mesmo que menor, de produções em português.

Em termos das revistas, publicações sobre o tema são feitas em revistas renomadas (tais como *Química Nova* e *Ciência & Educação*) e um número considerável de autores escreve sobre o assunto. De acordo com a revisão, ao longo dos anos existe uma potencialidade de aumento nas publicações de artigos focados na área de Ensino de Química e utilizando as propostas bachelardianas. Sob a ótica dos contextos de pesquisa, majoritariamente se evidenciam discussões de cunho teórico, o que induz a uma presença relevante das concepções bachelardianas na problematização intelectual da área. Não menos importante, pesquisas que se desenvolvem em contextos aplicados também foram evidenciadas, as quais apontam não apenas uma ação abstrata, mas também em sintonia com o “fazer educacional” no Ensino de Química.

Dos elementos quantitativos, a relação quali-quantitativa evidenciou a centralidade de alguns conceitos bachelardianos como os mais estudados, problematizados e empregados nas pesquisas. Com grande relevância, a noção dos obstáculos epistemológicos foi a mais empregada. Tal assumpção tanto permite inferir sobre a importância que a área de Ensino de Química dá a tal conceituação, quanto problematizar e buscar compreender os contextos mais específicos de empregos de tais propostas. Inicialmente, Bachelard não desenvolve um estudo no contexto “escolar”, “didático” ou “pedagógico”, e a grande utilização da noção de obstáculos epistemológicos sugere cautela e atenção nas translações do conceito de uma área a outra. Outro conceito reforçado pelas pesquisas é o de perfil epistemológico, sendo este mais promovido por meio da sua problematização e construção de “outro”, denominado perfil conceitual. Das discussões, a questão da fenomenotécnica também apareceu como presente em mais de um texto, o que aponta a contribuição de Bachelard no pensamento que dialoga fortemente com a produção de uma Ciência, em geral, e de uma Química, em particular, atual.

Ainda que potente a contribuição de Bachelard com alguns conceitos recorrentemente utilizados pela comunidade que pesquisa e atua no Ensino de Química, cabe problematizar se, em determinados momentos, as apropriações estão considerando os “limites” do próprio conceito, bem como a conjuntura de sua produção

e sua relação com outros conceitos também encaminhados pelo epistemólogo. Por exemplo, falar de obstáculos epistemológicos implica em questionar o próprio movimento de análise histórica da área que se analisa – e não uma história de historiador, mas uma história epistemológica, como o autor encaminha (BACHELARD, 1996) -, e tal tarefa exige um esforço maior do que apenas identificar obstáculos, exige um processo de ruptura com determinados encaminhamentos e práticas. Igualmente, falar de perfil epistemológico, num contexto educacional, implica em compreender as relações idiossincráticas da aprendizagem, assim como os elementos de produção de uma Ciência coletiva. Estão as pesquisas observando tais limitações? Estão as pesquisas se apropriando de “um conceito” ou da “epistemologia” de Bachelard? Questões como essa não se esgotam em um texto como esse, mas constroem as possibilidades de aprofundamentos das discussões em oportunidades futuras.

Nesse sentido, trabalhos que se propõem a desenvolver uma revisão da literatura, assim como este, nos ajudam a ter uma noção quali-quantitativa de como é organizada a pesquisa sobre o tema de interesse. Disso, é importante ressaltar que estudos sobre a história da Ciência e a filosofia da Ciência nos ajudam a entender a natureza dos conceitos trabalhados em sala de aula, ou seja, compreendendo mais sobre aspectos históricos e sociais que envolvem o desenvolvimento das ciências de uma época específica, além de ser um importante assunto no ensino e na formação do professor.

Por fim, destacamos a importância de pesquisas como esta que buscam uma revisão da literatura sobre a História e Epistemologia de Bachelard, visto que seus estudos buscaram um raciocínio filosófico e epistemológico que lidam com a prática científica e que até hoje trazem grandes contribuições ao ensino de Ciências.

4 Metodologia da Pesquisa

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa teórica construída no campo da história e da epistemologia, que permitiu o estudo a respeito da natureza do conceito de Ligações Químicas. Segundo Demo (2004, p. 35) a pesquisa teórica é “orientada para a (re)construção de teorias, quadros de referências, condições explicativas da realidade, polêmicas e discussões pertinentes”. Neste sentido, a construção deste trabalho foi apoiada em referências atuais e históricas, buscando sempre que possível os artigos originais publicados pelos cientistas mencionados.

A pesquisa tem caráter qualitativo, uma vez que descreve a construção do conceito de Ligações Químicas, bem como as discussões que envolvem o assunto, atentando para as questões históricas e epistemológicas, utilizando palavras para descrever o fenômeno. Deste modo:

A pesquisa qualitativa compreende a ciência como uma área do conhecimento que é construída pelas interações sociais no contexto sociocultural que as cercam. Por isto, seu foco é compreender os significados dos fenômenos a partir de quem os vivenciam, considerando tempos e espaços de atuações e reflexões. Compreende, portanto, que a Ciência é uma área de conhecimento produzida por seres humanos que significam o mundo e seus fenômenos (MÓL, 2017, p. 502).

Em termos metodológicos, após a Introdução, os dois capítulos que a seguem estão fundamentados na ideia de revisão e teorização, que tem por finalidade a colaboração de uma localização geral e fundamentação para a construção histórica e epistemológica de um conceito que serão desenvolvidos nos capítulos que seguem a presente metodologia. A preparação inicial das discussões a partir do conhecimento desses estudos possibilita identificar os referenciais teóricos, as implicações das investigações, as abordagens metodológicas, suas lacunas, assim como outros pontos importantes. Esses aspectos podem ser evidenciados em trabalhos publicados no campo do Ensino de Química, como os trabalhos de: Silva e Amara (2021); Grahall, Fernandez e Nogueira (2021); Garcez e Soares (2017).

Deste modo, nesses primeiros capítulos com características de revisão os dados coletados são predominantemente descritivos (LUDKE e ANDRÉ, 1986). Os “[...] estudos descritivos, têm como escopo apenas a descrição detalhada e organizada de um ou mais fenômenos”. A análise dos dados é interpretativa, tendo as referências como base

teórica, possibilitou uma apresentação clara das informações obtidas ao longo da pesquisa. Segundo Rossato e Martinez (2018, p. 67):

O processo interpretativo é sempre a produção de um novo significado sobre informações e eventos que, em seu relacionamento, não tem significados a priori. A interpretação das informações ocorre ao longo de toda a pesquisa e vai alimentando novas construções no processo. Cada pesquisador constrói e reconstrói o problema de pesquisa tecido pelas suas vivências e concepções sociais, históricas, culturais e, principalmente, epistemológicas, que é o que possibilita reconhecer a existência de um problema de pesquisa.

Os capítulos desenvolvidos a partir desta descrição metodológica se caracterizam como uma análise documental. Esta pesquisa não teve acesso direto aos indivíduos pesquisados, mas através de materiais como artigos, livros, panfletos, entre outros foi possível ter acesso às informações necessárias, uma vez que os estudos analisados foram desenvolvidos sobre ou pelo estudo do autor que estava sendo estudado. A análise documental foi desenvolvida a partir de uma perspectiva histórica e epistemológica para compreender a produção do conceito atual de LQ presente nas escolas. Sobre a análise desenvolvida:

O desafio a esta técnica de pesquisa é a capacidade que o pesquisador tem de selecionar, tratar e interpretar a informação, visando compreender a interação com sua fonte. Quando isso acontece há um incremento de detalhes à pesquisa e os dados coletados tomam-se mais. O documento a ser utilizado na pesquisa dependerá do objeto de estudo, do problema a que se busca uma resposta. Neste sentido, ao pesquisador cabe a tarefa de encontrar, selecionar e analisar os documentos que servirão de base aos seus estudos (KRIPKA, SCHELLER e BONOTTO, 2015, p. 57).

Para isso, organizamos documentos históricos, fontes primárias (documentos produzidos pelo próprio autor estudado) e secundárias (documentos produzidos que mencionam os autores estudados) para construir essa "história epistemológica". Entre as fontes pesquisadas, os documentos de natureza secundária foram analisados com o intuito de suprir a ausência ou ratificar as discussões de documentos primários, identificado ao longo da pesquisa e recorrentemente mencionado nessas fontes.

A construção desses capítulos não foi desenvolvida a partir de uma linha do tempo. Não se buscaram os documentos necessariamente em ordem "temporal", mas sim, de uma análise epistemológica com base em Bachelard. Portanto, foi possível analisar os documentos de modo a construir o caminho das ideias, um caminho para entender como se constituiu a proposição de Lewis sobre as LQ. Para isso, a partir de leituras, articulando diferentes textos, da formulação de perguntas e questionamentos, da participação em disciplinas sobre a epistemologia e a história da Química foi se construindo o caminho possível para as ideias de Lewis.

Sendo assim, assumimos que o uso dos documentos desta pesquisa permite acrescentar a dimensão do tempo, contexto histórico; universo sócio-político, possibilitando compreender as particularidades da natureza do conceito de LQ, colaborando para a construção de argumentos, refutações, reações e, ainda, identificar as pessoas, locais, fatos que estão sendo estudados ou se relacionam com a construção do conteúdo de LQ.

Após o processo de desenvolver uma discussão pautada na epistemologia histórica, esta dissertação buscou olhar para o campo do Ensino de Química e discutir possíveis implicações e possibilidades dos constructos deste trabalho para essa área. Para essa etapa, a metodologia, ainda centrada no processo documental, articulou diferentes textos da área de pesquisa em Ensino de Química, materiais didáticos e outros no sentido de problematizações desse campo com os achados desta pesquisa.

5 A História e a Epistemologia voltadas à investigação sobre os conceitos da Química com vistas ao Ensino de Química

Bachelard (1996) argumenta que o pensamento científico é construído a partir do desenvolvimento histórico e cognitivo, delineado pelo trabalho do historiador e do epistemólogo na compreensão da constituição de conceitos, trabalhos estes que são complementares, porém, distintos. Segundo Bachelard (1996, p. 21-22):

A história, por princípio, é hostil a todo juízo normativo. É, no entanto, necessário colocar-se num ponto de vista normativo, se houver a intenção de julgar a eficácia de um pensamento. Muito do que se encontra na história do pensamento científico está longe de servir, de fato, à evolução desse pensamento. Certos conhecimentos, embora corretos, interrompem cedo demais pesquisas úteis. O trabalho epistemológico deve, portanto, fazer uma escolha nos documentos coligidos pelo historiador. Deve julgá-los da perspectiva da razão e até da perspectiva da razão evoluída, porque é só com as luzes atuais que podemos julgar com plenitude os erros do passado espiritual. [...] Portanto, é o esforço de racionalidade e de construção que deve reter a atenção do epistemólogo. Percebe-se assim a diferença entre o ofício de epistemólogo e o de historiador da ciência. O historiador da ciência deve tomar as ideias como se fossem fatos. O trabalho epistemológico deve tomar os fatos como se fossem ideias, inserindo-as num sistema de pensamento. Um fato mal interpretado por uma época permanece, para o historiador, um fato. Para o trabalho epistemológico é um obstáculo, um contrapensamento.

Deste modo, entendemos que o trabalho epistemológico das ciências inicia a partir dos conhecimentos atuais, para em seguida, entender o processo de sua construção. E, com isso, são criados processos que permitem indicar maneiras de superar os obstáculos sedimentados pelos acontecimentos do passado. Bachelard ainda diferencia o trabalho histórico do epistemológico, estabelecendo onde terminam as competências de um e se iniciam as do outro.

Neste mesmo sentido Canguilhem (1983) argumenta que a cultura científica do hoje é comum entre o historiador e o epistemólogo. Porém, situando-a diferentemente em suas perspectivas, ele lhes confere uma função histórica diferente. Canguilhem (1983, p. 179) destaca que:

O historiador procede das origens para o presente, de forma que a ciência de hoje é sempre anunciada em certa medida pelo passado. O epistemólogo procede do atual para os seus começos, de forma que apenas uma parte daquilo que se tomou ontem por ciência se encontra em certa medida fundada pelo presente.

Os trabalhos epistemológicos buscam fundamentar a história, podendo certos fatos serem considerados errados, mesmo que façam parte da busca pelo certo. Com outra perspectiva, o trabalho histórico fundamenta a memória, não considerando um acontecimento errado, já que o fato, “realmente” aconteceu. Sendo assim, cabe à

epistemologia avaliar os documentos obtidos pela história, a partir do ponto de vista da razão, levando em consideração os conhecimentos atuais. O trabalho epistemológico se atenta às ideias fecundas do conhecimento numa época determinada.

Ainda, o trabalho epistemológico se compromete com o desenvolvimento da Ciência e com a evolução dos conceitos, tanto dos que são criados ou virão a ser, como dos que deixaram e deixarão de ter validade científica, por motivos de retificações. Diferentemente, o trabalho histórico procura garantir que todos os acontecimentos sejam apresentados, sejam eles verdadeiros ou pensamentos equivocados acerca dos saberes. Segundo Bachelard (2006, p. 209),

[...] o historiador da ciência, para bem julgar o passado, deve conhecer o presente; deve aprender o melhor possível a ciência cuja história se propõe escrever. E é aqui que a história das ciências, quer se queira quer não, tem uma forte ligação com a atualidade da ciência.

Neste estudo, ao buscarmos compreender o processo da construção do conceito de LQ presente na atualidade do ensino da disciplina de Química, buscaremos olhar para o processo histórico do ponto de vista da história epistemológica, ou seja, pelo olhar da epistemologia. Isso implica trabalharmos no sentido de compreender o presente por meio das ideias do passado. Não considerando todas as informações como fatos, e sim buscando um olhar atento para os acontecimentos, avaliando atentamente o que contribuiu na construção com conceito de LQ, nos apoiando em referenciais históricos selecionados.

5.1 A epistemologia do conceito: a noção de conceito como plural para diferentes conceitos⁷

Antes de começarmos as discussões a respeito do conceito de LQ, sua história e a epistemologia, é preciso buscar entender sobre como será compreendida a própria noção de “conceito”, mais especificamente o próprio termo. Ao longo do trabalho, em diversos momentos será dito que buscamos compreender a construção do conceito de LQ. Mas o que significa ser um conceito? Por que definimos LQ como conceito químico? O fato de ser considerado um conceito influencia no que sabemos sobre este assunto se analisarmos sua história e sua epistemologia? Essas questões provavelmente nos ajudam a entender a construção do conceito abordado nesta dissertação, as LQ, embora,

⁷ Publicado parcialmente nos anais do Encontro de Debates Sobre o Ensino de Química (EDEQ), 2022.

para isso, o próprio recorte do texto sobre “o que é um conceito” necessita ser esclarecido.

5.1.1 *Como podemos definir um conceito?*

Como é apontado por Melo e Bräscher (2014), o desenvolvimento do pensamento sobre a noção de “conceito” ao longo da história foi objeto de estudos de muitas áreas do conhecimento, sendo considerado como um elemento básico e essencial do conhecer. As autoras ressaltam que

Devido à complexidade e generalidade desse objeto, os estudos sobre o conceito demonstram variações de abordagens e dificuldades em defini-lo. Como resultado, tem-se uma multiplicidade de definições para o termo conceito que evidenciam ambiguidades e a inexistência de consenso em sua concepção (MELO e BRÄSCHER, 2014, p. 69).

Mesmo que de forma geral e flexível a noção de conceito possa ser definida, dependendo da vertente epistemológica de onde vem essa explicação, seu significado é alterado. Nesse sentido, tal variabilidade também é evidenciada por Abbagnano (2003). Nesse dicionário de filosofia o verbete “conceito” é apresentado como:

Todo processo que torne possível a descrição, a classificação e a previsão dos objetos cognoscíveis. Assim entendido, esse termo tem significado generalíssimo e pode incluir qualquer espécie de sinal ou procedimento semântico, seja qual for o objeto a que se refere, abstrato ou concreto, próximo ou distante, universal ou individual etc. [...] Embora o conceito seja normalmente indicado por um nome não é o nome, já que diferentes nomes podem exprimir o mesmo conceito ou diferentes conceitos podem ser indicados, por equívoco, pelo mesmo nome. [...] O conceito tampouco se refere necessariamente a coisas ou fatos reais, já que pode haver conceito de coisas inexistentes ou passadas, cuja existência não é verificável nem tem um sentido específico. Enfim, o alegado caráter de universalidade subjetiva ou validade intersubjetiva do conceito na realidade é simplesmente a sua comunicabilidade de signo linguístico: a função primeira e fundamental do conceito é a mesma da linguagem, isto é, a comunicação (ABBAGNANO, 2003, p. 164).

Conforme as definições abordadas, o que é destacado e nos ajuda a pensar sobre o tema desta dissertação é o fato de um conceito não ser considerado um nome ou uma simples palavra, já que uma mesma palavra pode ser atribuída para designar conceitos diferentes, assim como palavras diferentes podem designar o mesmo conceito. Essa percepção foi destacada, no campo epistemológico, por Bachelard, pois:

Numa mesma época, sob uma mesma palavra, coexistem conceitos tão diferentes! O que engana é a mesma palavra tanto designa quanto explica. A designação é a mesma; a explicação é diferente. Por exemplo, a palavra telefone corresponde a conceitos que são totalmente diferentes para o assinante, a telefonista, o engenheiro, o matemático preocupado com equações diferenciais de corrente telefônica (1996, p. 22).

Da filosofia do conceito para a filosofia da Química, é possível assumir que essa área “só se estabeleceu como Ciência propriamente dita a partir da adoção de uma linguagem comum que permitiu a transmissão de informações, conceitos e procedimentos experimentais” (BARBOSA, 2009, p. 213). Ou seja, estabelecer uma linguagem comum pode ajudar a entender especificamente sobre os processos químicos. Como anteriormente é apontado por Bachelard, uma palavra pode ter vários significados, e muitas palavras em Química têm um conceito químico distinto do significado que essa palavra apresenta em nosso cotidiano. Por exemplo, quando falamos sobre “ligações” no campo da Química podemos estar designando, por determinada perspectiva e constituição histórica, a interação entre dois átomos para formar uma molécula. Todavia, quando falamos de “ligação” em nosso dia a dia podemos estar nos referindo a uma ligação telefônica (algo desenvolvido no espaço material) ou uma ligação entre duas pessoas (que significa que tenham alguma relação de uma ordem afetiva, abstrata e com efeitos reais em seu convívio social), ou outras possibilidades. Situações distintas, mesmo termo, significados diferentes.

Ao se trabalhar com um campo reificado como o da Ciência Química (assim como outras ciências), afastando-se do espaço de vivência cotidiana, um aspecto importante à compreensão dos conceitos é que eles tendem a ser empregados na produção de determinado conhecimento. Dos exemplos citados acima, pelas questões daquilo que indicam, comunicam, organizam, inferem ou classificam, é possível observar que o emprego do que se tratará como um “conceito científico” buscará uma sistematização mais objetivada e menos permeada por aquilo que poderiam se dizer “aspectos subjetivos” – mesmo que ao longo da produção humana sempre haja o nível subjetivo em sua constituição, como bem mostram Nogueira e Veiga-Neto (2010). É esse processo de organização e sistematização que influi na produção do que se denominará um conhecimento (às vezes acrescido do qualificativo “científico”). Isso, pois, se quando tratamos de conhecimentos é possível assumir uma posição que indica “se são falsos ou verdadeiros, exatos ou não, aproximados ou definidos, contraditórios ou coerentes” (FOUCAULT, 1994, p. 723 apud VEIGA-NETO e NOGUEIRA, 2010, p. 79), as categorias internas a partir das quais se organizarão esses conhecimentos poderão ser denominadas de “conceitos”.

5.1.2 Categorizando os conceitos químicos

Quando analisamos o campo da produção de conhecimentos da Química, ainda que não totalizante ou excludente de outras possibilidades, Taber (2019) desenvolve uma organização que permite evidenciar, nesta área do conhecimento, certas características compartilhadas de determinados conceitos. Esta categorização desenvolvida pelo autor não são definições consideradas fixas, mas apresentam sua interpretação a cerca dos conceitos da área da Química desenvolvidas a partir da visão do autor. Neste sentido, o estudo de Taber (2019) é apresentado nesta dissertação com a intenção de pensar sobre uma possibilidade de compreensão a respeito do conceito, relacionado com a Química.

Sua proposta nos possibilita distribuir os conceitos em quatro categorias, assumindo que a ação de comunicar, definir, sistematizar, classificar e prever dos conceitos em Química geralmente se refere a (i) objetos, (ii) a eventos, (iii) a qualidades ou a (iv) meta-conceitos.

Os conceitos relacionados a **objetos** são conceitualizados metaforicamente como podendo existir no mundo físico, ou seja, mesmo o conceito sendo, *per se*, algo abstrato, seu uso e apropriação no campo da Química o torna tão real, verdadeiro e importante, que suas concepções o produzem como se estivesse presente de forma física. Segundo Taber (2019), os conceitos nesta categoria são considerados um conhecimento científico inicial, que servem como base para os demais conhecimentos. Este tipo de conceito é formado “naturalmente”, no sentido de ocorrer de forma regular. O indivíduo que estuda a Química em algum momento irá aprender esse conceito para que de fato consiga entender essa ciência, mas é apenas o início da construção dos conhecimentos científicos. Segundo esse autor, os conceitos que tratam da constituição dessa área como um grupo de objetos são conceitos fundamentais, mas não suficientes para o entendimento mais amplo e complexo da Química. Existem vários conceitos químicos considerados nesta categoria, como por exemplo, os metais, os ácidos e os elétrons.

Nesse sentido, esses conceitos têm uma função de tanto designar, organizar, inferir e definir quanto materializar o próprio campo disciplinar. Não existe margem para duvidar da existência dos conceitos pertencentes a esta categoria, pois a própria disciplina Química é construída sobre eles. Mesmo que não restritos à Química, na Química o que se entende por elétron, por metal, por átomo, etc. é assumido como um modo particular de tratar da matéria, por exemplo. O elétron “existe”. Mesmo que esse

conceito possa sofrer variações, que ora organizará esse conceito como definidor de mais uma “partícula”, ora como uma “função de onda”, não há dúvidas (pelo menos no sentido das compreensões hegemônicas nessa disciplina) de que determinado fenômeno, efeito, características particulares e singulares, quando analisadas sob certa perspectiva, poderá ser “chamado”, “definido”, “denominado”, “comunicado” como “elétron”. Todavia, diferente de “qualquer” comunicação, denominações, etc., quando analisado no campo da Química, ao simples termo “elétron” serão atribuídas características, delimitações, possibilidades de trabalho, etc. que não serão compartilhados por outros conceitos. Por essa análise, a própria existência da ideia de “elétron” significa a criação do conceito de elétron, que o diferencia, nessa designação, de outra partícula, onda ou sistema. Todavia, não há apenas essa categoria de conceitos que “realizam” a disciplina Química.

Há também conceitos relacionados com **eventos** ou processos na Química, que são descritos pelo autor como um tipo diferente de conceito que uma pessoa pode formar, levando em consideração os tipos de eventos que ela pode perceber e abstrair, atentando-se aos conhecimentos teóricos da Química. São acontecimentos químicos abstratos que de alguma forma podem ser observados e ajudam na compreensão dos conhecimentos químicos como, por exemplo, a combustão e a neutralização. Pode-se dizer que esses conceitos possuem uma forte relação com a experimentação. Uma relação entre os fenômenos que ocorrem e os sentidos do ser humano, que acaba orientando o pensamento através de uma relação com o fenômeno particular observado, possibilitando a construção dos conhecimentos científicos. Nesta categoria, a percepção de um processo se torna a grande relação entre o sujeito e o fenômeno químico, aliando-se à teoria. Também considera o sujeito, levando em consideração a singularidade de cada indivíduo e a possibilidade de interpretação de cada um, apesar da conclusão ser o conhecimento químico, cada indivíduo tem sua maneira própria de entender os fenômenos. De forma resumida esta categoria une a percepção de processos ou eventos químicos considerando o sujeito com suas percepções únicas, com o objetivo de entender a Química.

A terceira categoria que Taber desenvolveu em termos de organização dos diferentes tipos de conceitos químicos está relacionada com a **qualidade** percebida em fenômenos químicos. Ou seja, indica as propriedades químicas e físicas que podem ser qualificadas por medições e se referem a conceitos que não podem ser notados a partir

de uma observação direta, como a eletronegatividade. Exemplos de conceitos que se encaixam nesta categoria podem ser brilho, dureza e ductilidade. Esses conceitos apontam características abstratas ou visíveis possíveis de serem notadas que apresentam características particulares do material analisado. Ajuda a entender a matéria de uma forma muito profunda e íntima, uma vez que cada material possui suas características únicas e podem se portar dos mais diversos modos. A partir desta apropriação conseguimos compreender como será o comportamento, tendência, capacidade, qualidade, vantagem, limite, etc. da matéria nos mais diversos meios. Esses conceitos por vezes dão ao material as suas maiores características, o que permite relações rápidas, que podem aproximar os saberes do cotidiano com a Química. Um exemplo são os metais, que apresentam características como: bons condutores de calor e energia elétrica; têm aspecto lustroso e são maleáveis, características que notamos quando usamos uma panela de alumínio na cozinha de casa. Por outro lado, encaixam-se neste conceito características mais profundas, que não serão notadas de forma visível e que da mesma maneira trazem informações importantes para entender a matéria e que exigem um conhecimento químico mais apurado, como por exemplo, a eletronegatividade, que depende da comparação entre dois elementos químicos, ajudando no entendimento de como os átomos se ligam para formar as substâncias.

Por fim, a última categoria, chamada de **meta-conceito**, é referente a conceitos que se baseiam ou relacionam-se com outros conceitos e são mais abstratos do que entidades, propriedades ou processos. São conceitos que foram construídos a partir de outros conceitos. Esta categoria inclui conceitos de modelos, leis, princípios e teorias como, por exemplo, o modelo de gases ideais ou o princípio de Le Chatelier. Os conceitos abordados nesta categoria apresentam um lado muito interessante da Química, sobre a continuidade de estudos, pois acentuam as relações de como um conceito surge a partir de estudos já existentes, mostrando que não é comum fazer Ciência sem levar em consideração informações apresentadas por outros cientistas anteriormente. Esses conceitos surgem como algo inédito, mas apoiados em concepções e estudos desenvolvidos anteriormente por outros cientistas que possibilitam a utilização de argumentos que sustentam a teoria que está surgindo.

Um exemplo de uma categorização de meta-conceito, já inserido no objetivo de discussão deste estudo, pode ser o conceito de ligações covalentes, proposto por Lewis, que mostra uma nova maneira de entender a união dos átomos para formar as

moléculas. No início do século XX, acreditava-se que as LQ eram formadas por meio da transferência de elétrons entre os átomos. Foi em 1916 que Lewis apresenta sua nova teoria a respeito das LQ, trazendo uma ideia mais qualitativa, explicando a ligação entre os átomos através do compartilhamento de elétrons, ideia esta que até então não havia sido apresentada (ou pelo menos não havia ganhado destaque na comunidade científica). Para chegar a essa conclusão, Lewis buscou aportes teóricos já existentes sobre o conceito de LQ. Nos artigos em que Lewis trata das ligações covalentes e apresenta suas concepções, ele cita muitos estudos de outros cientistas que ajudaram a chegar nas suas conclusões e possibilitaram a apresentação de um novo conceito (LEWIS, 1916). A argumentação e a discussão se tornam mais potentes e organizadas, haja vista que trabalham no campo de uma especificação de determinado ponto de estudo. Por este motivo, pode-se caracterizar as Ligações Químicas Covalentes, inicialmente, como um meta-conceito, “que podem ser vistos operando em e com outros conceitos químicos como se estivessem trabalhando em um nível ‘superior’ (mais abstrato ainda)” (TABER, 2020, p. 75).

Todavia, ainda que viável de discutir, organizar e classificar os conceitos num sentido geral, observa-se que o modo de sua operação é que poderá incidir mais acentuadamente na sua organização como tal ou qual tipologia de conceito (com a base em Taber). Isso, pois, mesmo que a Ligação Covalente possa ser um meta-conceito ao analisar sua “dependência” da existência da Ligação Química, a partir do momento em que o trabalho com esse conceito vai “introjetando-o” no corpo de pensamento da disciplina Química e vai assumindo-o como “existente”, será possível evidenciar um deslocamento de sua compreensão no sentido de “objetificá-lo”. Ou seja, as categorias utilizadas por Taber não serão tomadas aqui como fixas, porquanto elas nos auxiliam a compreender os modos como estão sendo mobilizados os conceitos da Química a cada instante, e isso, para a análise epistemológica, é importante no sentido de compreender o processo mesmo de sua apropriação pela área.

5.1.3 Sobre conceitos e sua relação com modelos

Os conceitos científicos trazem características bem particulares, e têm uma grande potencialidade de definição. Geralmente quando vamos tratar de um conceito utilizamos de outros conceitos e assim por diante. Por este motivo é importante a sistematização e organização dessas informações, construindo um tipo de hierarquia

entre esses conceitos, devido às suas próprias relações. Quando tratamos de um conceito na Química e temos a intenção de potencializar o seu entendimento temos a possibilidade de trabalhar com os modelos. Os modelos, diferentemente dos conceitos, têm uma relação mais voltada com a explicação, e não com a definição. Quando abordamos os modelos na Química, geralmente estamos tratando de algo abstrato, que talvez nunca tenha sido visto de fato, mas temos a consciência de sua existência – criada a partir da ação da mente humana sobre o mundo. Sendo assim, para que consigamos argumentar sobre um modelo criado com a intenção de explicar algo que não pode ser visto ou tocado acabamos tendo a necessidade da mobilização dos conceitos. A má conceitualização do modelo pode estabelecer um obstáculo epistemológico, impedindo o avanço do conhecimento científico.

É nesse sentido que é preciso marcar que *modelo* e *conceito* são coisas distintas. Os modelos podem ser definidos como representações de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema (KRAPAS *et al.*, 1997). Nas LQ, relacionando os modelos com o conceito, podemos trazer o exemplo da teoria de Lewis. Nela podemos apontar os modelos, através das estruturas de Lewis, que objetivam representar a LQ. Nesse modelo os elétrons são descritos como pontos ao redor do símbolo do elemento. E para definir esse modelo utilizamos conceitos, como por exemplo, conceito de Ligações Covalentes. Pode-se dizer que necessitamos do conceito quando temos a intenção de falar sobre modelos. De acordo com o dicionário de filosofia, uma definição possível do termo modelo é:

Uma das espécies fundamentais de conceitos científicos (v. CONCEITO), mais precisamente o que consiste na disposição caracterizada pela ordem dos elementos de que se compõe, e não pela natureza desses elementos. Por isso, dois Modelos são idênticos se a relação de suas ordens puder ser expressa como correspondência biunívoca, ou seja, tal que a um termo de um corresponda um, e apenas um, do outro, e que a cada relação de ordem entre os elementos de um corresponda idêntica relação entre os elementos correspondentes do outro [...]. Para ser útil, um Modelo deve ter as seguintes características: 1) simplicidade, para que seja possível sua definição exata; 2) possibilidade de ser expresso por meio de parâmetros suscetíveis de tratamento matemático; 3) semelhança ou analogia com a realidade que se destina a explicar. Os modelos mecânicos pareciam indispensáveis à ciência do séc. XIX, mas hoje diferentes disciplinas utilizam Modelos puramente teóricos: economia (que utiliza jogos), psicologia, biologia, antropologia [...] (ABBAGNANO, 2003, p. 678).

Comparando os dois termos de acordo com o dicionário de filosofia são possíveis apontar algumas diferenças como, por exemplo, modelos são diferentes dos conceitos geralmente por serem desenvolvidos buscando proximidade com a realidade, já o conceito pode ser dado a coisas abstratas ou inexistentes. Modelos devem ter uma

utilidade, ou seja, desenvolvido especificamente para um fim específico, voltado para servir, ter préstimo. Diferente do conceito que não precisa ser útil e sim buscar definir, organizar, limitar e comunicar.

A partir dessas problematizações, neste trabalho, ao falarmos de um estudo que se pautará na discussão epistemológica e didática do *conceito de Ligações Químicas*, estaremos nos referindo ao conceito como uma forma de definição, de comunicação entendendo a variação no sentido da palavra, no qual é capaz de esclarecer algo totalmente abstrato. O Conceito assume uma representação mental que pode ser subdividida por outros conceitos, que nos ajudam no entendimento da discussão. Neste sentido, o conceito de LQ abordado é assumido como um conceito objeto, devido sua importância dentro dos conhecimentos químicos, colocando-se como um conceito inicial e fundamental para a compreensão da Química.

Deste modo, com a descrição das concepções relacionadas aos conceitos realizados neste trabalho, assumimos que o conceito é responsável por ajudar no entendimento da Química. É o que fundamenta e constrói o saber individual, colaborando no entendimento de leis, teorias, modelos e princípios. Ajuda a compreender o fenômeno, mas, além disso, possibilita que o indivíduo possa fazer relações, escrever, argumentar e explicar. Pode-se dizer que entender o conceito é também compreender sobre a natureza da Ciência e conseguir fazer relações com outros saberes. Ainda, entendemos o conceito como uma construção humana, sujeito a transformação e aperfeiçoamento de acordo com o desenvolvimento de trabalhos científicos. Junto ao conceito e potencializando suas características importantes no processo de ensino e aprendizagem temos os modelos, principalmente na disciplina de Química que costuma trabalhar com conceitos existentes, porém abstratos. O uso do modelo acompanhado da conceitualização pode facilitar a compreensão dos conteúdos químicos ajudando na análise, avaliação, idealização e construção do assunto trabalhado.

5.2 *Várias Ligações Químicas*

O conceito de LQ foi constituído a partir de conceitos químicos já existentes, tendo em vista que pesquisadores buscavam explicar a união dos átomos para formar as moléculas. Dentre esses estudos, muitos foram desconsiderados e abandonados, outros foram aceitos e permanecem até hoje nas concepções reconhecidas pela comunidade científica. Essas informações obtidas foram organizadas pelos estudos de epistemólogos

e historiadores ao longo do tempo, trazendo assim uma perspectiva da construção dos conceitos e sua definição. Como discutido anteriormente, um determinado conceito pode assumir diversos significados. Segundo Wenzel e Maldaner (2014, p. 315);

Quanto ao processo de significação, fazer uso ou apropriar-se das palavras é um passo inicial que antecede a formação do pensamento conceitual. Este somente é possível pela evolução do significado do conceito, num processo que implica a realização de diferentes relações conceituais.

Deste modo, com o conceito de LQ não foi diferente. Gilbert Newton Lewis explica o conceito LQ relacionando com conceitos já existentes, como a valência e o modelo atômico, por exemplo. As relações feitas por Lewis possibilitaram o uso do termo Ligações Químicas (LQ) para propor dois conceitos diferentes, o de Ligação iônica e Ligação covalente. As LQ foram em grande parte inspiradas na ideia da união por meio de pares de elétrons e na ideia do átomo cúbico (LEWIS, 1916). É possível dizer que o conceito de Ligação covalente, proposto por Lewis, partiu de estudos já realizados por outros pesquisadores a respeito das LQ. A ideia da Ligação covalente surge como uma nova explicação na qual existe o compartilhamento de um par de elétrons que, envolvidos na LQ, passam a “pertencer” aos dois átomos ligados. Definição que até então não havia sido proposta. Nesse sentido, levando em consideração estudos já realizados e assumindo o papel da epistemologia, é por esse aspecto que podemos atribuir a Lewis a proposição de um novo conceito para explicar um termo já conhecido, a LQ.

Ainda, ao longo da história, após as proposições de Lewis, outras proposições da Ciência emergiram, como novos modelos para o átomo e novas ideias para tratar das teorias das Ligações Químicas, proporcionando um maior entendimento de como os átomos se combinam formando os compostos, resultando em outros modelos de LQ estudados hoje em dia, que vão além das ligações iônica, covalente e metálica, como a Teoria da Ligação de Valência (TLV) e a Teoria do Orbital Molecular (TOM). Essas teorias produziram outros tipos de conceitos que tanto criarão quanto organizarão processos, eventos, designações, etc. das/sobre as/com as LQ que trazem conceitos diferentes ou complementares daqueles propostos por Lewis.

As LQ propostas por Lewis são discutidas até hoje em sala de aula, especialmente na sala de aula da Escola Básica (Pazinato et al., 2021). Todavia, como o processo de construção dos conceitos tende a buscar organizar, sistematizar, categorizar e definir (dentre outros qualificativos) aquilo que se observa como objeto de estudo, existem fenômenos químicos que as conceituações de Lewis não são capazes de explicar. Se,

pela via dos conceitos articulados à epistemologia, suas concepções não são consideradas totalmente errôneas (haja vista que ainda são ferramentas que permitem a localização e organização do que se denomina disciplina Química), é preciso assumir que na dinâmica da construção conceitual suas propostas podem ser compreendidas como limitadas – e é nesse exato ponto que podem emergir outras conceituações que tanto se utilizarão de elementos já existentes (apropriando-se deles e os tensionando ou modificando), quanto criando novas proposições (seja efetivamente inaugurais nos conhecimentos da humanidade, seja pela articulação entre diferentes áreas que trazem à área em destaque ideias que a ela seriam “novas”), como o caso das TLV e a TOM. Estas, ao se proporem a explicar sob pontos de vista da mecânica quântica a interação entre os átomos “inauguram” um novo modo de discutir isso na Química, criando novos conceitos. Mesmo que ainda seja possível falar que tanto TLV quanto TOM tratam dos processos de “Ligação Química”, os elementos que elas organizam “criam” um outro modo de olhar para isso, formando aquilo que Bachelard já diria sobre os diferentes conceitos de telefone aos diferentes sujeitos. De modo distinto de Bachelard, aqui não mudam necessariamente os sujeitos, mas o recorte do mundo sob o qual se organizam os modos de falar desse próprio mundo e que, para isso, desenvolvem-se a construção de conceitos.

Para se chegar à concepção de LQ que temos hoje, principalmente a partir das discussões de Lewis, determinado caminho foi produzido. Esses vários conceitos foram sendo organizados, às vezes contraditos, às vezes esquecidos ou, até, assumidos pela comunidade como erros cometidos ao longo de um processo. De toda a forma, na atualidade temos uma definição mais sistematizada e legitimada pela comunidade sobre o que seriam as LQ. Dessa definição, embora não seja única, mas ainda assim muito aceita, há uma trajetória de discussões que foram desenvolvidas e que criaram o esteio sobre o qual alguns conceitos puderam ser definidos, refinados e propostos. Hoje, é central o papel da construção de Gilbert Newton Lewis na proposição de um modelo explicativo e preditivo para os modos como as substâncias interagem. Mais do que ver, então, esses diferentes conceitos (plurais e múltiplos) de LQ, para tratarmos da lógica que possibilitou a produção do conhecimento de LQ conforme o temos hoje, é preciso transformar os fatos em ideias, como diria Bachelard, analisando-os sob a perspectiva epistemológica – tema, esse, que será o foco do próximo capítulo.

6 Transformando fatos em ideias: o estudo epistemológico voltado à compreensão da construção do conceito de Ligações Químicas

Pela perspectiva adotada nesta pesquisa, é preciso reafirmar que aquilo que conhecemos hoje em dia como conceito de LQ foi constituído por um processo histórico de produção de conhecimentos científicos que o antecederam e que, em suas articulações, geraram as condições de possibilidade para a criação desse conceito. Conforme apontado acima, cabe, então, ao trabalho epistemológico, transformar os fatos narrados pela história em ideias criadas, adaptadas, reconstruídas e trabalhadas pela Ciência Química. Ainda que essa abordagem possa trazer algumas limitações (como qualquer abordagem que se escolha trará), ao utilizá-la buscaremos, num pensamento que se inspira, em parte, em Bachelard, jogar “contra sua própria cultura, com a sua própria cultura” (FOUCAULT, 1972). Isso implica em, ainda que dentro de uma cultura da produção do conhecimento científico químico, encontrar formas de analisar, criticar, apontar as fragilidades e limites desse próprio conhecimento e, principalmente, problematizar os modos como ele foi sendo reconstruído no campo escolar. É certo que a “Ligação Química” da Ciência “pura e aplicada” da Química é distinta daquela “Ligação Química” tratada na escola. Contudo, mesmo distintas, apresentam relações, elementos, fatos e, principalmente, ideias que as conectam e que, conforme já comentado a partir de Pastoriza, Loguercio e Mazzotti (2014), evidenciam que a produção dos conhecimentos escolares passa pela referência ao conhecimento produzido no campo da Ciência (inalcançável, inatingível e sumariamente diferente do campo escolar).

É assim que, nesta seção, olharemos para um percurso histórico de fatos, mas de fatos selecionados por conta das ideias que trazem e que, em sua articulação, puderam constituir o que denominamos hoje como LQ. Embora nesta pesquisa não acreditemos na falácia do “retorno à origem”, pois diferentes filósofos já a criticaram, podemos assumir que nos afiliamos a uma proposta que entende a “origem” como “um nascimento, como um começo, ao contrário do que fez a tradição metafísica que concebeu a origem como uma essência, como a verdade da coisa” (MOTA, 2008, p. 7). É por essa perspectiva que no processo de narrar fatos e ideias, o ponto de corte inicial é receptivo a variações, a possibilidades de alterações ou de contestações. Todavia, como forma de legitimação, o ponto inicial (ou os pontos parciais, assim como o próprio ponto final) escolhido se sustentará no exato momento em que permite, como condição de possibilidade, o encadeamento das ideias que a ele se associaram. Em síntese: não há

“o início” de tudo, mas há “um início” para a argumentação que se pretende e, na perspectiva deste trabalho, isso deve bastar.

6.1 *Um início possível e um caminho provável*

O interesse em compreender a constituição da matéria, do qual se tem relatos desde tempos muito remotos e por fragmentos (CHAUÍ, 2000) pode ser apontado como um dos possíveis “motores” do desenvolvimento de uma forma de explicar a matéria por meio de “Ligações Químicas”. Obviamente, no processo de delimitação de uma “ligação” que é “Química”, a circunscrição da área de foco da discussão também remonta a momentos inaugurais daquilo que vai se constituindo com a própria “área da Química”, com a produção de seus conceitos, seus procedimentos, etc. Todavia, não é possível desconsiderar que uma área em constituição parte de elementos os quais já estariam mais consolidados, que seriam os possíveis paradigmas (KUHN, 1998) dominantes e, nos meados do século XVII ao século XX, o paradigma dominante era a física newtoniana. Os estudos de Isaac Newton foram, em grande medida, os construtores das ideias a partir das quais o próprio mundo passaria a ser pensado, seja ele grande e visível aos olhos, seja ele minúsculo e distante de nosso nível sensível.

Isaac Newton, em 1704, publicou seu livro *Óptica*, destacando que a matéria era constituída por partículas chamadas de “corpúsculos”, com força de atração e repulsão. Essas forças faziam com que as partículas se mantivessem unidas ou afastadas. Como é apontado por Justi (1998, p. 27):

Isaac Newton acreditava que a matéria era constituída de partículas. Entretanto, a essas partículas ele associou poderes de atração e repulsão. Newton considerou vários casos em que um composto se dissociava porque uma de suas partes era mais fortemente atraída por alguma outra substância do que por aquela com a qual ela estava originalmente combinada. Entretanto, ele não explicou a seletividade das atrações químicas e nem as diferenças nas forças de atração de diferentes tipos de partículas.

A comunidade científica da época aceitou as concepções trazidas por Newton a respeito da combinação entre as partículas, levando em consideração a importância dos estudos que o cientista vinha desenvolvendo. Newton buscava entender a constituição da matéria, não especificamente as LQ – até porque, nesse momento, nem mesmo esse termo “Ligação Química” existia, obviamente.

A partir de suas concepções, outros cientistas⁸ publicaram estudos sobre o assunto, como Etienne-François Geoffroy (1718), que apresentou em seu artigo uma tabela de afinidade (figura 1), composta por 16 colunas e nove linhas, sendo que a primeira linha da tabela inclui os “principais materiais que temos o costume de trabalhar em Química” (GEOFFROY, 1718, p. 203).

*TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS
observés entre différentes substances.*

Mémoires de l'Académie, 1718, Pl. 8, pag. 112.

☉	☽	☾	♂	♀	♁	♂	♁	SM	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
SM	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁
	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁	♁

☉ Esprits acides

☽ Acide du sel marin.

☾ Acide nitreux.

♂ Acide viriolique.

♀ Sel alkali fixe.

♁ Sel alkali volatil.

♁ Terre absorbante.

SM Substances metalliques

♁ Mercure.

♁ Regule d'Antimoine.

♁ Or.

♁ Argent.

♁ Cuivre.

♁ Fer.

♁ Plomb.

♁ Etain.

♁ Zine.

♁ Pierre Calaminaire.

♁ Soufre mineral.

♁ Principes huileux ou soufre Princeps

♁ Esprit de vinaigre.

♁ Eau.

♁ Sei.

♁ Esprit de vin et Esprits ardens

Figura 1: Tabela de afinidade Geoffroy de 1718
Fonte: Mocellin (2018, p. 187)

Alguns dos símbolos utilizados na tabela de afinidades de Geoffroy foram baseados em símbolos utilizados na alquimia. A tabela “sumarizava conhecimentos sobre as reatividades de diferentes substâncias, consideradas no nível macroscópico, e

⁸ Muitas vezes será utilizada a denominação de “os cientistas” no sentido de destacar uma ciência marcada, predominantemente, pelo masculino, como é apontado por Chassot (2013) e Bento (2021). Ainda que busquemos uma proposta de maior representatividade do feminino nas pesquisas, uma vez que nos utilizaremos de textos históricos e, nestes, há uma centralidade de autoria e discussão masculina, utilizaremos essa marcação de gênero – aqui também assumida como uma marcação se retrata um tempo, uma época e, com isso, também crítica a própria marcação.

podia ser compreendida sem que fosse necessário entrar em discussões sobre a estrutura microscópica da matéria” (VIDAL e PORTO, 2014, p. 79). A tabela mostrava a possibilidade das substâncias se unirem para formar as reações. Mocellin (2006, p. 390) explica a organização da tabela:

Nessa tabela, Geoffroy interpretou um conjunto de reações químicas, que hoje denominamos de deslocamento, ou melhor, de reações de simples e de dupla troca ($A + BC \rightarrow AC + B$, e, $AB + CD \rightarrow AD + CD$, respectivamente). Na tabela de Geoffroy, encontram-se 16 substâncias que encabeçam 16 colunas. Em cada coluna, a afinidade para com a substância na cabeça da coluna decresce de cima para baixo, de modo que quando duas substâncias com alguma tendência a se combinarem estão reunidas e encontram uma terceira com afinidade maior com alguma das primeiras, ela se combina com alguma destas, deixando livre a outra. Traduzindo a primeira coluna para uma linguagem moderna, podemos entender melhor o assunto do qual a tabela tratava. A primeira coluna refere-se às reações ácido-base, na qual se acompanha a ordem decrescente de reatividade dos ácidos frente aos álcalis, aos óxidos metálicos e aos metais. Assim, um ácido reagiria preferencialmente com álcalis fortes (bases fortes, NaOH, KOH, ...), seguido dos álcalis fracos (NH_4OH , ...), dos óxidos metálicos e dos metais.

No artigo, Geoffroy preferiu utilizar um termo que pode ser traduzido como “harmonia” ou “relação” ao invés de afinidade, utilizando no título da tabela a palavra “*rapport*”. O uso deste termo se justifica pela tentativa de Geoffroy de evitar relações entre as substâncias e as características humanas, que era comum nesse período histórico.

As articulações da criação do conceito de LQ demonstram possível influência dos estudos de Isaac Newton, mais especificamente a lei da gravitação universal, que é uma força fundamental de atração que age entre todos os objetos por causa de suas massas, e é proposta pela relação de quantidade de matéria de que são constituídos. A lei da gravitação universal diz que duas partículas quaisquer do Universo se atraem gravitacionalmente por meio de uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.

$$\|\vec{F}\| = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^3} \vec{r} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1)$$

Deste modo, em 1785, Charles Augustin de Coulomb trouxe concepções parecidas com a lei da gravitação universal de Newton. Utilizando uma balança de torção, ele conseguiu quantificar a força elétrica (figura 2).

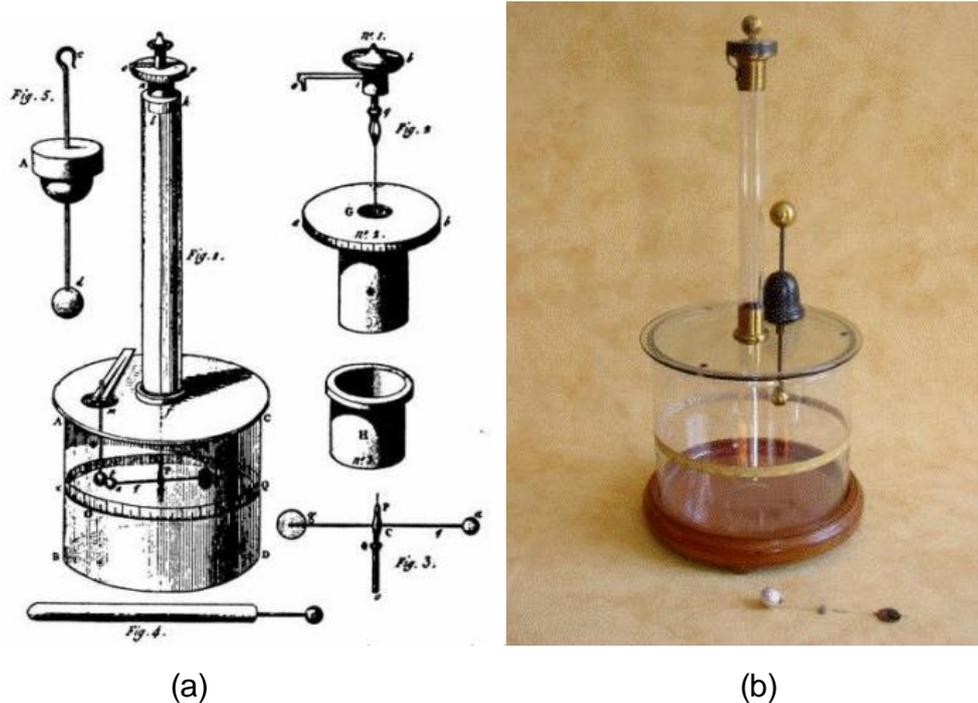


Figura 2: (a) Desenho esquemático da Balança de Torção de Charles Augustin de Coulomb e (b) foto de protótipo real construído.

Fonte: (a) Beléndez (2008, p. 4) e (b) Blog do ENEM (Disponível em: <https://blogdoenem.com.br/eletricidade-e-a-lei-de-coulomb/>, acessado em: 25/08/2022)

Por esses estudos foi possível a proposição da chamada lei de Coulomb, que colaborou no entendimento da interação elétrica entre cargas. De acordo com a Lei de Coulomb, a força de atração entre as partículas de cargas opostas é diretamente proporcional às suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre elas.

$$|F| = k_e \left| \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right| \quad (2)$$

Portanto, a lei de Coulomb (2) tem a mesma forma matemática da lei da gravitação universal (1) que descreve a atração entre duas massas, com a diferença de que a força elétrica pode ser atrativa ou repulsiva, enquanto a força gravitacional é sempre atrativa (VILLATE, 2015).

Outro ponto que pode ser percebido entre os estudos de Coulomb e Newton diz respeito às partículas que constituem a matéria. Newton entendia essa constituição e associava às partículas as tendências de atração e repulsão, entretanto, o porquê de cada partícula possuir uma força de atração diferente não foi explicado, do mesmo modo como ele também não explica a seletividade da atração química entre elas. Já os estudos

de Coulomb estabelecem que esta força de atração e repulsão entre as partículas que constituem a matéria possui relação com a carga elétrica.

A partir dos experimentos da Lei de Coulomb, apresenta-se um caráter elétrico à união entre os átomos, mesmo que o estudo de Coulomb não estivesse focado nas explicações a respeito da união entre átomos.

Neste momento, as pesquisas apresentavam definições de afinidade e atração, mas explicar de fato suas causas ainda não era possível (ou, pelo menos, não estava no foco das discussões que ganharam mais relevância). Os trabalhos de Coulomb levaram o estudo da eletricidade de um nível qualitativo para o quantitativo, e marcaram os conhecimentos da época em relação à constituição da matéria.

Ainda numa temporalidade muito próxima a Coulomb, em 1789, Lavoisier apresenta seu livro “Tratado Elementar de Química”. Os capítulos do livro apresentam as ideias e os experimentos detalhadamente descritos por Lavoisier sobre a teoria da combustão, a formação de fluidos elásticos aeriformes e por consequência apresentam suas conclusões sobre a composição do ar atmosférico, assim como outros assuntos importantes para época. No livro, o autor propõe algumas tabelas de afinidade, assumindo que de acordo com a temperatura a afinidade sofria alterações. Este livro se divide basicamente em três partes, sendo que na segunda parte do livro Lavoisier apresenta as tabelas, como é descrito por Costa (2011, p. 43):

A Segunda Parte está organizada na forma de 44 tabelas sinóticas acompanhadas de comentários, a primeira das quais é a célebre Tabela das Substâncias Simples. Esta Segunda Parte trata, segundo afirmações do próprio Lavoisier, de um resumo dos resultados extraídos de diferentes obras. A química dos sais encontrava-se bastante desenvolvida e é um dos domínios da química do século XVIII, conjuntamente com a teoria das afinidades, que Lavoisier deixa intacto.

No livro também era apresentado o “significado de afinidade e atração como uma ‘tendência para combinar’. As causas da afinidade permaneciam incompreendidas, mas as tabelas eram úteis principalmente no sentido de prever o resultado das reações” (JUSTI, 1998, p. 28). Deste modo, neste período a afinidade prévia as reações, mas não as explicava.

Lavoisier é, no entanto, obrigado a fazer apelo do conceito de afinidade para interpretar algumas das experiências que descreve e as substâncias nas Tabelas da Segunda Parte do Tratado Elementar de Química estão organizadas de acordo com as suas afinidades de agregação dos corpos. As tabelas de afinidade ofereciam um modo de ordenar os resultados experimentais da química (COSTA, 2011, p. 53).

Se analisarmos o conceito de afinidade da época e compararmos com as concepções de Taber (2019) sobre os possíveis modos de organizar e classificar os diferentes tipos de conceitos que temos no campo da Química, seria possível dizer que a afinidade se refere à qualidade, a terceira categoria do autor. Ou seja, o conceito de afinidade aponta para um nível abstrato que apresenta características particulares do material analisado. Nesse momento os pesquisadores entendiam o *como* da reação química, mas ainda não tinham condições de explicar o *porquê*. Até aqui se entende a combinação das partículas a partir da força eletrostática, ou seja, associando as partículas com cargas elétricas. As discussões teóricas giram em torno de uma questão que é a forma de contato entre as substâncias, misturas e combinações químicas, sendo a *afinidade* uma *qualidade* a ser “empregada”, mas não necessariamente “explicada”.

Com o conjunto da teoria corpuscular de Newton e os estudos a respeito da afinidade química, alguns anos depois Dalton irá propor seu modelo atômico, ajudando a explicar as combinações químicas, quando busca justificar o contato entre os gases. Essa construção do modelo atômico de Dalton a partir do corpuscularismo newtoniano surge quando a ideia de Newton sobre o ar havia sido superada. A existência de um único fluido gasoso, o ar comum, já era entendida como limitada. Os estudiosos da época compreendiam que o ar poderia ser formado de vários tipos de ‘ares’. Como é comum na ciência, foi necessário novos estudos que dessem conta de explicar essa nova teoria. O interesse de Dalton pelos fenômenos atmosféricos acabou por conduzi-lo a uma série de questões. Deste modo, conseguiu construir uma teoria atômica quantitativa mediante a utilização de dados procedentes de estudos sobre transformações químicas. Entender exatamente como foram os estudos de Dalton se pode dizer que não é algo fácil, devido às múltiplas linhas de estudos que Dalton diz ter seguido para apresentar sua teoria (OKI, 2009).

Assim, por volta de 1808, John Dalton apresentou seu modelo atômico através de seu artigo *New System of Chemical Philosophy*. Segundo Maar (2011, p. 195), “pode-se dizer que o pensamento newtoniano, e através dele o pensamento atomístico antigo, certamente inspirou Dalton quando este planejou seus experimentos sobre gases, dos quais emergiu, como consequência dedutiva, a teoria atômica”. A partir deste modelo atômico “foi possível trabalhar quantitativamente os átomos, determinando suas massas e estabelecendo relações estequiométricas em bases sólidas, tirando a Química de seu estado eminentemente descritivo” (FILGUEIRAS, 2016, p. 1262).

As discussões apresentadas por Dalton influenciaram na forma de pensar dos físicos e químicos, e serviu de base para muitas das propostas atômicas elaboradas. Pensar quantitativamente revolucionou a forma de ver, pensar e praticar a Química na época. Antes da proposta de Dalton a Química se caracterizava por ter uma visão mais qualitativa; os estudos de Dalton resultaram na base conceitual do atomismo químico na relação entre as leis de combinações químicas, os pesos atômicos determinados e o esquema teórico proposto para explicá-los. Dalton parecia acreditar na existência física do átomo, o que possibilita a ousadia de suas publicações se comparado com os cientistas da época. Uma vez que a análise feita pelos cientistas sobre a união entre os átomos eram através dos sentidos, Dalton já demonstra em seus trabalhos detalhes que extrapolavam os sentidos, como por exemplo, desenhar as partículas em tamanhos diferentes, determinado o peso e modo de suas combinações – detalhes não comuns para a época (DALTON, 1808).

Levando em consideração as concepções de Taber (2019) a respeito dos modos de classificar e compreender os conceitos em Química, é possível evidenciar a formação de conceito de átomo para Dalton está relacionado com a primeira categoria, de um modo de falar do como se funcionando como um objeto. Para Dalton a existência do átomo era real. Mesmo sendo algo totalmente abstrato, ele acreditava na sua existência. Conceitos relacionados a objetos são conceitualizados metaforicamente como podendo existir no mundo físico, mesmo sendo totalmente abstratos. Foi assim que o conceito de átomo era considerado por Dalton nesta época, pois ele o definia, agia sobre ele, o representava e o assumia como parte do mundo material. Dalton considerava o átomo como esfera indivisível, diferenciando os elementos químicos pelo peso atômico e pelo tamanho, que poderiam se combinar para formar substâncias compostas. Nesse sentido, Bezerra e Silva (2001, p. 179) apontam que:

Dalton, em sua teoria atômica, postulava que os compostos químicos formavam-se pela combinação de dois ou mais elementos, em um “átomo composto” [...] Dalton acreditava nas relações ponderais de combinação e adotava uma regra de simplicidade: quando dois elementos formam um único composto, este é binário e combina o átomo de um com o do outro. Quando formam dois compostos, um é binário, com um átomo de cada espécie, enquanto que o outro é ternário, com dois átomos de um e um átomo do outro, e assim sucessivamente. Portanto, dentro dessa concepção, a água seria descrita como um composto binário de hidrogênio com oxigênio e os pesos relativos dos dois átomos seriam de cerca de 1 e 7, respectivamente.

A ideia de Dalton sobre a união dos átomos explica que a reação química ocorre pela união ou separação de elementos, mas a ocorrência da reação não pode

transformar um elemento em outro. Analisando os estudos de Dalton a partir de uma visão epistemológica, é possível perceber que apesar das suas contribuições ele se coloca também como um obstáculo epistemológico. Segundo Saldanha (2018, p. 91):

As crenças podem, ainda, ser obstáculos epistemológicos, no sentido de crenças já postas figurarem como atravancos a novas buscas ou entendimentos sobre determinada questão. É o caso de cientistas que elevam suas descobertas a um patamar tal que não admitem novas proposituras.

Isso, pois quando buscamos detalhes de como foram os estudos de Dalton sobre sua proposta não encontramos com facilidade. Dalton desenvolveu diferentes teorias acerca de sua proposta, os relatos contraditórios de Dalton, sobre o emergir de sua teoria, junto ao lento processo de seu surgimento, corroboram com a diversidade de explicações (THACKRAY, 1966).

Como é apontado por Bachelard (1996, p. 22) “um fato mal interpretado por uma época permanece, para o historiador, um fato. Para o epistemólogo é um obstáculo, um contrapensamento”. A partir dessa concepção de Bachelard, e buscando a visão epistemológica que analisamos os estudos de Dalton, percebemos certa dificuldade em compreender mais sobre a proposição de sua teoria. O que acaba estabelecendo um obstáculo epistemológico, uma vez que entender os detalhes e a natureza do estudo nos permite estabelecer relações e compreensões sobre a própria teoria, bem como as teorias que surgiram após.

A construção da teoria atômica recebeu diversas contribuições de diferentes áreas. Dentre elas a Eletricidade, proposta por William Nicholson e Anthony Carlisle, que abre uma perspectiva completamente nova para o conceito de átomo. A dissociação iônica levaria os cientistas a se perguntarem se apenas moléculas de água poderiam ser dissociadas (PINHEIRO, COSTA e MOREIRA, 2011). Ou seja, William Nicholson e Anthony Carlisle apontaram para mais um passo no entendimento das reações químicas, trazendo novos argumentos. Bezerra e Silva, (2001, p. 180) indicam que:

As primeiras noções de que as ligações químicas eram de natureza elétrica foram resultado dos experimentos de William Nicholson (1753-1815) e Anthony Carlisle (1768- 1840), os quais conseguiram efetuar a decomposição da água em hidrogênio e oxigênio, por meio de uma corrente elétrica (eletrólise).

Deste modo, a partir desses estudos, o entendimento sobre a combinação entre dois elementos sofre uma grande mudança: até então, os cientistas da época acreditavam que as transformações químicas aconteciam devido a repulsão e a atração entre os elementos de cargas opostas. Contudo, com os estudos de William Nicholson e Anthony Carlisle, assim como estudos anteriores de Alessandro Volta, que deram origem

à pilha, ficou estabelecido que as forças elétricas eram capazes de formar reações químicas. Neste contexto, pode-se imaginar que as forças da interação entre os átomos sejam de natureza elétrica, dando início aos estudos da eletroquímica.

Em 1818 Jöns Jacob Berzelius, baseado nas ligações por atração eletrostática, apresenta seus estudos que dão origem ao chamado “dualistic system”, o qual conhecemos como teoria dualística, concluindo que todas as combinações químicas dependem unicamente de duas forças opostas, uma positiva e outra negativa. Sendo que a combinação entre os elementos ocorria de acordo com a quantidade de carga positiva ou negativa apresentada pelo átomo.

Porém, pelas generalizações e incoerências, essas considerações foram aos poucos sendo abandonadas (BROWN, 1959). Com o estudo das reações químicas de substituição, notou-se que “átomos eletropositivos, como os de hidrogênio, podiam ser substituídos por átomos eletronegativos, como o cloro ou outros halogênios” (PEREIRA e SILVA, 2015, p. 5). Essa foi uma das percepções que colaboraram para que a teoria de Berzelius fosse abandonada. Outra divergência que acompanhou os estudos de Berzelius voltados ao campo teórico foi o uso de diferentes valores de pesos atômicos e equivalentes químicos. As discrepâncias nos valores propostos eram acompanhadas de divergências nas notações utilizadas para as fórmulas químicas e nas definições discordantes de vários termos da linguagem química. Um mesmo composto podia ser escrito utilizando 19 fórmulas químicas diferentes, o que não era surpreendente no contexto da época (OKI, 2007). Em um trecho escrito por Berzelius (1819) percebe-se certa incerteza de estabelecer a fórmula correta para os compostos, por não entender exatamente até que ponto os átomos poderiam se combinar:

Para considerar bem sua natureza, seria importante saber até onde pode ir à combinação de átomos compostos e qual é a última ordem. Quanto aos átomos de compostos orgânicos, não sabemos também em quantas ordens diferentes eles podem combinar, seja entre si ou com átomos de compostos inorgânicos (1819, p. 27-28).

Ainda, com o avanço nos estudos, percebeu-se a formação de ligação entre o mesmo elemento, como a interação entre carbono e carbono. Tendo em vista que todos os átomos de carbono são semelhantes, não teria como existir cargas opostas, revelando novamente mais uma fraqueza na teoria de Berzelius. Deste modo, é possível perceber como as concepções de Berzelius limitaram as concepções sobre a formação das moléculas durante certo momento histórico; ao mesmo tempo, seu estudo possibilitou

que outros cientistas investigassem e superassem suas limitações propondo novos avanços sobre o entendimento do tema.

Após alguns anos surgem os estudos de Archibald Scott Couper, em 1850, propondo o termo '*grau de afinidade*'. A definição desse termo era importante para a comunidade científica da época, uma vez que a não definição de termos poderia trazer controvérsias para os diferentes estudos que vinham sendo desenvolvidos, já que cada cientista entendia o termo de uma maneira. Deste modo, Couper define o termo *grau de afinidade* como a capacidade de um elemento de combinar com outro formando compostos. Sendo uma propriedade inerente e comum aos elementos químicos, a proposição do grau de afinidade leva às pesquisas um modo a mais de justificar as fórmulas que até então eram construídas e, ainda, permite modificá-las no sentido de sua adequação (LARDER, 1971).

Couper também foi o primeiro a adotar diagramas com traços para representar a chamada fórmula estrutural, ajudando na iniciativa das representações de como era a união entre os átomos formando as moléculas. Esta representação é importante até os dias de hoje, uma vez que ainda utilizamos traços para representar a união entre os átomos. Couper utilizou esta representação para demonstrar a união de átomos de carbono, destacando seu estudo das múltiplas valências do carbono. Sugeriu que cada valência do carbono fosse representada por um traço, dando origem à fórmula estrutural plana. Segundo Neto, Raupp e Moreira (2009, p. 7):

Couper introduz elementos representacionais que refletem o conceito de ligação, devido às suas experiências com situações-problema onde múltiplas valências poderiam ocorrer para o carbono. Assim, o conceito de composto químico incorporaria, portanto, o de ligação química (ou tipo de ligação química), permitindo a solução de uma gama maior de situações-problema que envolvia o conceito de valência. Mais uma vez, esta reconstrução representacional incorporava conceitos novos (ligação química) ao conceito de composto químico, bem como novos invariantes.

No desenvolvimento das ideias que permitiram construir o que chamamos hoje de LQ foram importantes os estudos de Frankland, Kekulé e Couper, uma vez que pelas discussões da época, centradas na questão da "união" dos compostos a partir de seu "grau de afinidade", a noção de "valência" contribuiu para a compreensão de como a natureza organiza e transforma seus constituintes.

Nesta época não se utilizava o termo LQ ou valência, e sim atomicidade. Estudando a história do conceito de LQ, percebe-se que durante o tempo o termo utilizado para a união entre os átomos teve certa modificação, muitos deles seria uma

variação do termo valência. Por isso, “desde a primeira vez que os termos valência e LQ começaram a se encontrar, observou-se uma ampla confusão para o sentido de ambos” (NETO, 2007). Era muito importante para os estudos da época estabelecer um único termo para cada conceito. Como os estudos a respeito da união entre os átomos eram estudos recentes, a busca por definições e termos era comum, isso para que todas as pesquisas do assunto usassem os mesmos termos e definições para que não houvesse confusão. Segundo Kuznetsov (1980 Apud NOGUEIRA e PORTO, 2019, p. 117):

Outros termos foram usados previamente, tais como: basicidade, proposto em 1852 por Alexander Williamson (1824 – 1904); atomicidade, usado em 1857 por Kekulé; equivalência e quantivalência, usados também por Kekulé a partir de 1858. Nesse momento, surgiria nos trabalhos de Kekulé o termo valência, como uma forma reduzida e abreviada das palavras “equivalência” e “quantivalência”. Esses três termos estariam relacionados pela mesma raiz latina, valens (de valere, que entre outras acepções tem o sentido de “estar forte”), cujo significado estaria ligado à ideia de força. Assim, a palavra “valência” sugeria um “poder” ou uma “força de combinação” existente entre dois elementos.

Desta forma, destacam-se primeiramente os estudos de Frankland, que em 1852, em seu artigo *On a New Series of Organic Compounds Containing Metals* (Sobre uma nova série de compostos orgânicos contendo metais), propôs que um determinado átomo tem possibilidade definida para combinar com outros átomos, chamada de “força de combinação”. O termo, também chamado como capacidade de saturação, era uma nova denominação para a obsoleta ideia de afinidade dos elementos. A ideia se baseia no que ficou conhecido posteriormente como a teoria de valência:

Quando a fórmula dos compostos químicos inorgânicos é considerada, até mesmo um observador superficial é golpeado com a simetria geral da construção deles ou delas. Os compostos de nitrogênio, fósforo, antimônio e arsênio, exibem especialmente a tendência desses elementos formarem compostos contendo 3 ou 5 equivalentes de outros elementos e é nessas proporções que suas afinidades são melhor satisfeitas; assim no grupo de três átomos de outros elementos temos o NO_3 , NH_3 , Nl_3 , NS_3 , PO_3 , PH_3 , Pcl_3 , SbO_3 , SbH_3 , SbCl_3 , AsO_3 , AsH_3 , AsCl_3 . e no grupo de cinco átomos NO_5 , NH_4O , NH_4l , PO_5 , PH_4l . Sem oferecer qualquer hipótese sobre a causa deste agrupamento simétrico de átomos, é suficientemente evidente, pelos exemplos que acabamos de dar, que tal tendência ou lei prevalece, e que, não importa qual seja o caráter dos átomos unificadores, a combinação do poder do elemento de atração, se me permitem o termo, é sempre satisfeito pelo mesmo número desses átomos (FRANKLAND, 1852, p. 440).

Deste modo, a relação de valência com as forças de combinação é estabelecida com o trabalho de Friedrich August Kekulé (1858) e Archibald Scott Couper (1858). Um independente do outro introduziu a ideia de valência na união entre os átomos quando buscavam o entendimento a respeito do que ficou conhecido como teoria estrutural para a Química Orgânica. Apesar dos dois cientistas terem iniciado os estudos relacionados com a valência no mesmo período, o grande nome que se estabeleceu foi de Kekulé, já

que Couper encerrou seus estudos precocemente por problemas de saúde. Kekulé usa o conceito de valência para explicar a tetravalência do carbono, o que acaba contribuindo nas concepções sobre a formação das moléculas. “Kekulé entendia que a valência de um elemento deveria ser fixa e que possuía valor máximo de quatro unidades como nos elementos carbono e silício” (CAMEL, KOEHLER e FILGUEIRAS, 2009, p. 549).

Kekulé e Couper baseados no conceito de valência buscaram explicar a estrutura dos átomos, chamado na época de ‘fórmula constitucional’. Este período foi marcado por uma visão da importância de estudos voltados ao arranjo dos átomos. A tetravalência do carbono e a formação de cadeias carbônicas, propostas por Kekulé e Couper contribuíram para os estudos a respeito da teoria estrutural.

Em 1861, Alexander Mikhailovich Butlerov introduz o termo ‘estrutura química’. Butlerov afirmou que a natureza Química da molécula é determinada não apenas pelo número e pelo tipo de átomos que a formam, mas também pela forma como esses átomos estão ligados uns aos outros. Percebe-se a partir daqui uma mudança no nível epistemológico relacionado à formação das moléculas. Se antes o foco estava nas quantidades, relações ponderais e na matemática, agora os estudos estavam direcionados ao entendimento da estrutura, de como era a localização entre os átomos no espaço.

Logo, Butlerov notou a importância de estudar a influência dos átomos em uma molécula, tanto conectados diretamente quanto por meio de outros átomos. Deste modo, para ele as moléculas não são estáticas, e seus átomos estão em movimento contínuo. Butlerov sugeriu que as propriedades de um composto estavam relacionadas à sua estrutura molecular e refletem a maneira pela qual os átomos estão ligados uns aos outros nas moléculas do composto (PAULING, 1956). Butlerov fundamentou experimentalmente sua teoria com um grande número de sínteses e a desenvolveu ainda mais. O arranjo espacial dos átomos e suas propriedades, a correlação feita entre a estrutura e valência foram pontos importantes que destacaram a importância de Butlerov nos estudos das estruturas químicas.

Em 1863 Butlerov também introduziu pela primeira vez o termo *Ligação Química* em seu artigo intitulado *Ueber die verschiedenen Erklärungsweisen einiger Fälle von Isomerie* (Sobre as diferentes formas de explicar alguns casos de isomeria). É importante ressaltar que ao falar sobre a estrutura de uma molécula, Butlerov, Couper e Kekulé,

incluíam uma referência de como era o arranjo dos átomos dentro da molécula, que é determinado pelas valências dos átomos. Segundo Nogueira e Porto (2019, p. 123):

Pode-se afirmar, portanto, que a proposição e uso das estruturas químicas foi um processo gradual e feito em conjunto, começando com os trabalhos de Kekulé, passando pela sistematização e aprofundamento realizados por Butlerov (que aplicou a ideia de estrutura química aos compostos orgânicos até então conhecidos), e seguem sendo aperfeiçoados até os nossos dias – não cabendo falar em um único fundador.

Sendo assim, Alfred Werner, a partir de seus estudos e levando em consideração as informações de estudos anteriores, por volta de 1893, com o artigo intitulado *Beitrag zur konstitution anorganische Verbindungen* (Contribuição para a constituição de compostos inorgânicos) estabeleceu pela primeira vez alguns conceitos como número de coordenação, valência primária e secundária.

Werner percebeu que alguns números de coordenação tinham certa regularidade, como os números seis, nos complexos de cobalto (III), e quatro, como nos complexos de platina (II). Desse modo, Werner usava o método da contagem de isômeros com os compostos orgânicos propondo as possíveis geometrias espaciais. Para isso, imaginava um átomo central ligado a seis grupos que estavam arranjados ao seu redor. Werner propôs que, no caso de um número de coordenação seis, as geometrias espaciais possíveis eram a hexagonal plana, a prismática trigonal e a octaédrica, representadas a partir da fórmula geral MA_4B_2 (figura 3).

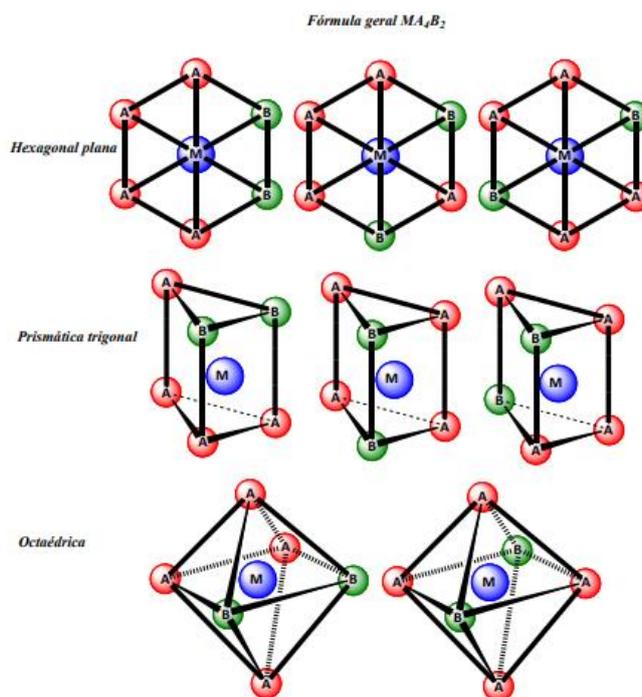


Figura 3: Representação gráfica dos isômeros geométricos previstos por Werner
Fonte: Santos et al. (2014, p. 1270).

Com base nas suas investigações empíricas, Werner concluiu que o número de isômeros previstos e que foram observados na prática correspondia à geometria octaédrica (SANTOS *et al.*, 2014). A respeito da teoria da coordenação, segundo Lewis (1923, p. 114):

A maioria dos casos de valência superior a quatro são encontrados nos complexos formados por sais metálicos. Um dos maiores serviços prestados por Werner constituiu na classificação e elucidação de tais complexos. Ele mostrou que um átomo como o átomo de cromo ou cobalto está no centro de uma zona de coordenação na qual um certo número de radicais está ligado ao átomo central, e esse número é chamado de número de coordenação.

Outro artigo de extrema importância de Werner que foi publicado anos depois, em 1905, é intitulado *Neuere Anschauungen Auf Dem Gebiete Der Anorganischen Chemie* (Visões recentes no campo da Química Inorgânica). Neste artigo o autor amplia as discussões realizadas no trabalho anterior a respeito dos conceitos de número de coordenação, valência primária e secundária. Os conceitos de valência primária e secundária, também apresentados por Werner, têm sua importância na compreensão das LQ. Essa teoria de Werner a respeito do conceito de valência primária e secundária surge a partir de seus estudos nos complexos aminocobálticos. Santos *et al.* (2014, p. 1268) apontam que:

Werner propôs que a valência primária representava o número de íons responsáveis por estabilizar e neutralizar a carga do centro metálico. Este tipo de valência era não direcional, teria caráter fortemente iônico e representaria o que hoje conhecemos como estado de oxidação do metal. O segundo tipo de valência representava o número de coordenação do metal, possuía direcionalidade geométrica e era responsável por conferir os contornos espaciais (a forma tridimensional) do complexo, e hoje é conhecida como esfera de coordenação do metal.

Werner supôs que, em complexos como $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$, o íon Co^{3+} ficaria no centro de um octaedro, com as moléculas de NH_3 (chamadas de ligantes) localizadas em três dos seis vértices, ligadas ao átomo central através das suas valências secundárias, constituindo o íon complexo hoje formulado como $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]^{3+}$. Ainda segundo Werner, os três cloretos se ligariam ao cobalto através das respectivas valências primárias deste íon. Segundo Toma (2014, p. 577):

O primeiro passo que seria dado por Werner, para comprovar sua hipótese, foi distinguir entre os ânions ligantes que estão dentro ou fora da esfera de coordenação. Para isso, Werner fez uso das medidas de condutividade de forma criativa, construindo um quadro sistemático, no qual reuniu os dados de complexos correlatos de aminas e nitrito de cobalto (III), e também de aminas e cloreto de platina (IV), formando séries estequiométricas com variações bem definidas [...] O segundo passo a ser dado por Werner seria investigar a

identidade e as características da esfera interna de coordenação, ou seja, do próprio complexo. Para isso, Werner voltou-se para a estereoquímica e, felizmente, nessa tarefa, os complexos de cobalto ajudaram bastante, pelas suas características favoráveis, como estabilidade, inércia, solubilidade, cristalinidade e cromaticidade. Nesses estudos ficou claro sua enorme capacidade de percepção espacial, incluindo a facilidade de lidar com os elementos de simetria das moléculas [...] Para avançar nessa direção, Werner decidiu examinar os derivados desse composto, obtidos pela perda de uma ou mais amônias, por meio de aquecimento térmico controlado [...] O aquecimento prolongado do complexo purpúreo levava à formação de um complexo de fórmula $\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_3$, cuja medida de condutividade era coerente com $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$. Entretanto, Werner observou que esse composto admitia duas formas distintas, coloração verde (práseo) ou violeta (vióleo). A existência dessas duas formas foi atribuída ao fenômeno de isomeria geométrica, relacionado ao fato de os ligantes ocuparem posições não equivalentes na esfera de coordenação. No caso da estereoquímica octaédrica existem apenas duas possibilidades, representadas pelos isômeros, cis e trans.

Werner tornou relevantes as discussões, no que se refere à teoria da coordenação, para o entendimento que temos hoje em dia sobre os complexos de coordenação, assim como para a construção de teorias sobre as LQ nesses compostos.

Por volta do ano de 1890 Werner apresenta uma dissertação intitulada *Contributions to the Theory of Affinity and Valence* (Contribuições para a teoria de afinidade e valência) onde apresenta uma representação do átomo, mais especificamente o átomo de carbono (figura 4):

Deixe que a esfera representada na fig. 1 represente um átomo de carbono e os pontos a, b, c, d representam as localizações de valência dos quatro átomos diferentes na molécula abcd. Como geralmente se supõe, estes átomos executarão certos movimentos periódicos, provavelmente no caminho das seções cônicas, em torno da localização de valência, movimentos que podem ser diminuídos ou aumentados por diversas influências. Todos os movimentos periódicos na esfera atômica, qualquer que seja, pode ser referida a oscilações periódicas, em forma de pêndulo, ao redor do local da valência. Das muitas formas possíveis de oscilação, vamos selecionar uma das mais simples: os átomos cujos locais de valência são a, b, c, d podem oscilar em dois planos perpendiculares um ao outro, ou seja, na direção das setas da Fig. 1. Pela introdução de calor ou por alguma outra influência externa, estas oscilações podem ser aumentadas (WERNER e KAUFFMAN, 1967, p. 195-196).

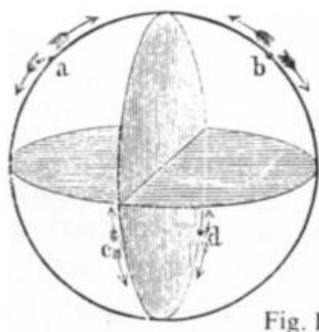


Figura 4: Átomo de Carbono representado por Alfred Werner
Fonte: Werner e Kauffman (1967, p. 196).

Nessa mesma dissertação ele também representa a união entre os átomos através de figuras (figura 5) e descreve:

Na fig. XIII, a esfera C representa o átomo de carbono e a esfera N o átomo de nitrogênio. Na esfera de carbono C, os dois átomos se ligam ao carbono e esgotaram a afinidade atuando nas superfícies de ligação A e B. O restante da afinidade será usado para ligar o átomo de nitrogênio e, correspondendo à sua distribuição na esfera de carbono, (ele) ligará uma quantidade distribuída similares de afinidade no átomo de nitrogênio, podendo agora ocupar três locais de valência quase igualmente favoráveis na porção do átomo de nitrogênio disponível para sua ligação ou (poderia) esgotar as superfícies de ligação (WERNER e KAUFFMAN, 1967, p. 210).

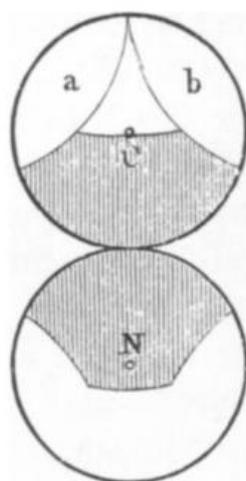


Fig. XIII

Figura 5: representação de Alfred Werner da união entre os átomos de Carbono e Nitrogênio.

Fonte: Werner e Kauffman (1967, p. 210).

Após alguns anos das discussões importantes de Werner, a concepção a respeito da teoria atômica estava sendo apresentada por Joseph John Thomson, mais especificamente no ano de 1897. Até este momento podemos resumir as concepções sobre a união entre os átomos em três etapas: a primeira delas se faz quando começaram os primeiros estudos que entendiam as aproximações químicas através de forças de atração e repulsão, a segunda entenderá que essa força de atração e repulsão terá relações com as cargas elétricas, e a última etapa é quando a noção de valência começa a ser utilizada para explicar a formação das substâncias.

Deste modo, Thomson apresenta a sua teoria atômica, descrevendo a existência de uma partícula negativa no átomo, que inicialmente foi chamada de corpúsculo e ficou posteriormente conhecida como elétron. Em seu artigo intitulado *On the structure of atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles*

arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure (Sobre a estrutura do átomo: uma investigação da estabilidade e períodos de oscilação de um número de corpúsculos dispostos em intervalos iguais ao redor da circunferência de um círculo; com aplicação dos resultados à teoria da estrutura atômica), publicado em 1904, Thomson apresenta sua teoria atômica. Logo no início do artigo é explicado que a principal discussão apresentada é a constituição do átomo, que segundo o autor era constituído pelos corpúsculos:

A ideia que os átomos dos elementos consistem em um número de corpúsculos eletricamente negativos englobados numa esfera uniformemente positiva sugere, dentre outros problemas matemáticos interessantes, o único discutido nesse artigo – o movimento de um anel com n partículas eletricamente negativas localizado numa esfera eletrificada uniformemente (THOMSON, 1904, p. 237).

A proposição do elétron surge com experimento realizado por Thomson, utilizando tubos de raios catódicos. Com esse experimento, “raios” repelidos pelo cátodo são atraídos pelo ânodo, e alguns passam por uma região sujeita a forças elétricas ou magnéticas, formando um feixe. Esse feixe é defletido por placas ligadas a uma bateria, de modo a formar um forte campo elétrico entre elas; depois, move-se em uma região livre de forças, até bater na parede do tubo que contém um material fosforescente, produzindo um ponto de luz (SILVA, SANTOS e DIAS, 2011). Pela análise desse experimento e outros, Thomson percebeu que os raios catódicos eram carregados negativamente por partículas chamadas por ele de corpúsculos (elétrons) que desviavam esses “raios” através de campos magnéticos e elétricos.

A partir desta concepção sobre a existência da partícula negativa, e a ideia da existência de cargas na constituição da matéria, passou-se a considerar essas concepções as responsáveis pela interação entre os átomos. Posteriormente, em seu livro intitulado *Corpuscular Theory of Matter* (Teoria Corpuscular da Matéria), publicado em 1907, onde dava continuidade em seus estudos sobre o átomo, ele explica como ocorrem as combinações químicas. Segundo Thomson (1907, p. 120), “um assunto muito importante e interessante para investigação é a natureza das forças que seria exercida entre grupos de corpúsculos e sua aplicação à teoria da combinação química”.

O modelo atômico de Thomson ajudava a entender a combinação entre os elementos, suas propriedades periódicas e a natureza da interação elétrica da matéria. Thomson (1907, p. 126-127) explica que:

Os termos eletronegatividade e eletropositividade são apenas relativos, e um elemento pode ser eletropositivo para uma substância e eletronegativo para outra. De acordo com as considerações anteriores, a valência de um elemento

quando ele atua como o constituinte eletronegativo de um composto pode ter uma forma de valência muito diferente quando atua como constituinte eletropositivo. [...] Vemos que deste ponto de vista a valência de um elemento não é uma quantidade constante; depende de saber se o elemento é o constituinte eletropositivo ou eletronegativo do composto [...]

Em 1903 os estudos de Johannes Stark apontaram que a união entre os átomos é resultado do compartilhamento de elétrons entre dois átomos. Ele “representou o compartilhamento com linhas de força elétrica, que iam do elétron para cada um dos átomos ligados. O elétron era ligado, com um grande número de linhas, ao átomo mais eletronegativo; e com um número menor ao átomo mais eletropositivo” (BEZERRA e SILVA, 2001, p. 181).

Um ano após, Richard Wilhelm Heinrich Abegg (1904) discutiu uma lei da valência e contravalência, que descreveu o termo valência associando com a regra do octeto:

Podemos então resumir nossa teoria das eletrovalências da seguinte forma: cada elemento tem uma valência máxima positiva e negativa, que sempre somam o número 8, e a primeira corresponde ao número do grupo. Se um elemento afirma sua eletrovalência positiva ou negativa depende da natureza polar de seus compostos semelhantes. O exercício de uma espécie de valência parece impedir muito o das outras, mas como vemos adiante, sem aboli-la completamente. A seguir consideramos as valências de cada elemento que são em menor número (<4), portanto, como fracos, suas contradições, ou seja, os números maiores com polaridades opostas. Assim tem valência normal negativa Cl 1 e contravalências positivas 7, e valência normal positiva análoga Ag 1 e contravalências (hipotéticas) 7. A admissão da valência máxima não é necessária (1904, p. 343-344).

Sua descrição delimitou o número de valências possíveis incluídos em uma LQ, variando de 0 a 8, demonstrando indício do número de elétrons possíveis na união entre os átomos (BEZERRA e SILVA, 2001). Porém, é importante destacar que a associação do número oito com a valência não foi proposta pela primeira vez por Abegg, mesmo que a partir de seus estudos essa discussão tenha tomado uma proporção maior.

Antes de Abegg, em 1871, Mendeleev publicou uma extensa revisão sobre a periodicidade química e física dos elementos, conforme aponta o estudo de Jensen (1984). Segundo esse autor, no estudo desenvolvido por Mendeleev, dentre as propriedades discutidas estava a valência. Mendeleev apresentou duas regras sobre a valência nas quais o número oito desempenhava um papel fundamental. A primeira dizia que a valência máxima de qualquer elemento presente na tabela periódica não passava de oito. A segunda estabelecia uma relação entre a valência máxima de um elemento medida em relação ao hidrogênio e sua valência máxima medida em relação ao oxigênio, afirmando que sua soma nunca era maior que oito. Portanto, os estudos sobre a valência e a relação com o número oito têm em Mendeleev um importante contribuidor, da mesma

forma que não há dúvidas de que os estudos de Abegg sobre sua regra constituíram um passo fundamental no desenvolvimento tanto da regra do octeto quanto da teoria eletrônica da valência. Ainda, foi a noção de valência de Abegg utilizada futuramente nos estudos de Lewis para explicar as LQ.

Dos estudos até aqui analisados, é possível observar elementos em comum e algumas construções efetivamente novas. Por exemplo, anteriormente à proposta estrutural de Butlerov, Couper e Kekulé, as discussões eram sistematizadas a partir da questão de uma análise de um mundo sensível e muito herdeiro das discussões de Lavoisier. A partir das discussões desse trio temos uma significativa modificação da discussão: não mais a relação quantitativa, ou melhor, não *apenas* essa relação quantitativa, mas agora uma proposição posicional, que localiza as entidades atômicas (partículas simples) em determinada região do espaço, e isso só ocorre por meio de estudos como os de Couper e Werner e sua capacidade de suposição e abstração.

Todavia, até aqui, o que evidenciamos é uma determinação “do que há”, e não necessariamente da produção de uma discussão suficientemente elaborada sobre “como ocorre o processo de produção do que há”. Será na seara da constituição de um modelo baseado em dados diretos, indiretos e em muita abstração, que se avançará para além de uma proposta que somente “prevê” a ocorrência de uma reação, mas que “explicará” como essa reação ocorre a partir das (relativamente) novas entidades criadas pela imaginação humana. Aqui entrará Lewis e seu grupo. A partir dele, será possível evidenciar dois grandes saltos: um no sentido explicativo e outro no sentido integrativo. O explicativo, conforme dito, avançará no modo de compreender o processo. O integrativo será resultado de seu momento histórico de quem vivencia e propõe um modelo ainda pautado num paradigma newtoniano e, na sequência, ao lapidar, expandir e analisar seus limites a partir de uma nova construção denominada “quântica”, traça possíveis integrações entre esses mundos.

6.2 *Lewis: a gênese de um novo conceito*

Pensando em todo contexto conceitual existente durante o século XIX e XX, apresentado na seção anterior, conseguimos organizar os estudos para entender um pouco melhor a proposta de Gilbert Lewis referente às LQ. Ainda, para isso é necessário apontar de forma mais clara os desdobramentos dessa proposta, o caráter transitório das ideias científicas de Lewis. A partir deste capítulo as citações dos

artigos de Lewis estão presentes em rodapé no formato original, para ajudar no entendimento de sua abordagem e na significação dos termos abordados, haja vista que às vezes, por conta da tradução que nós, autores, realizamos, o termo em português que melhor seja apropriado pode ter uma significação distinta do usual (ou do tempo em específico em que ele é empregado). Para contornar isso, optou-se por essa metodologia.

Portanto, para compreender a construção do conceito proposto por Lewis, que o levaram a propor o modelo de Ligação Química, é importante conhecer um pouco de sua trajetória de vida pessoal e acadêmica, com a intenção de percorrer os caminhos que levam o pesquisador a iniciar seus estudos acerca deste tema. Sabe-se que muitos estudos foram propostos antes da teoria de Lewis, alguns autores assumem determinadas propostas como fundamentais para a teoria desenvolvida por esse pesquisador, mas “a verdadeira fonte da originalidade de Lewis reside menos em uma única influência direta do que em sua incomum vontade de justapor e combinar todos os pontos de vista” (KOHLENER, 1975, p. 233).

6.2.1 Um histórico mais que breve, à guisa de contextualização

Gilbert Newton Lewis nasceu em 1875, foi o segundo filho do casal Frank Wesley Lewis e Mary Burr White Lewis, que tiveram três filhos. Lewis se casou com Mary Hinckley Sheldon no ano de 1912, quando tinha 37 anos. De seu casamento, Lewis teve três filhos, uma menina e dois meninos, que seguiram os passos de Lewis, demonstrando interesse pela ciência.



Figura 6: Gilbert Newton Lewis jovem e o pesquisador com sua família
Fonte: Maia (2016, p. 125).

Começou seus estudos informalmente com ajuda dos pais, que o ensinavam sobre leitura e álgebra. O ensino domiciliar era comum nesta época para famílias de maior poder aquisitivo. Lewis iniciou sua vida escolar em instituições formais durante a adolescência, quando ingressou na escola preparatória da Universidade de Nebraska. Lá permaneceu durante dois anos, até o ano de 1892, transferindo-se para Harvard College aos 17 anos. Após quatro anos de estudos, em 1896, formou-se bacharel em Química. Trabalhou durante um ano na empresa *Phillips Andover Academy*, e voltou a Harvard em 1898 para seu mestrado em artes e doutorado em filosofia no ano de 1899 (HARRIS, 1999).

Foi ao longo do doutorado que Lewis produziu seu artigo, intitulado *Some Electrochemical and Thermochemical Relations of Zinc and Cadmium Amalgams* (Algumas relações eletroquímicas e termoquímicas de amálgamas de zinco e cádmio) (1898), juntamente com seu orientador Theodore Willian Richards – pesquisador reconhecido na época, que a partir de suas pesquisas sobre a determinação de pesos atômicos ganhou em 1914 o Nobel de Química.

Após concluir a tese, depois de um ano, Lewis vai para Europa seguir seus estudos na área da Físico-Química. Durante esse período de estudos trabalhou com dois pesquisadores importantes: no ano de 1900, em Leipzig, trabalhou com Friedrich Wilhelm Ostwald, ganhador do prêmio Nobel de física em 1909, principalmente por seu trabalho com catálise (ZOTT, 2003); um ano depois, em 1901, na cidade Göttingen, trabalhou com Walther Hermann Nernst, que estudava sobre eletroquímica e o que foi inicialmente chamado de “teorema do calor” (CROPPER, 1987, p. 6), buscando uma maneira de calcular constantes de equilíbrio de reações em fases gasosas, começando com dados calorimétricos. Em um artigo que conta a biografia de Nernst, o autor um tanto poético enaltece seu papel na ciência:

De acordo com uma história atual para o ano de 1900 em Berlim, Deus decidiu um dia criar um super-homem. Ele trabalhou primeiro no cérebro, formando uma “mente mais perfeita e sutil”. Mas ele tinha outros negócios e o trabalho teve que ser deixado de lado. Um dos assistentes de Deus, o Arcanjo Gabriel, viu esse cérebro maravilhoso e não pôde resistir à tentação de tentar criar o homem completo. Ele superestimou suas habilidades e, no entanto, conseguiu criar apenas “um homenzinho de aparência nada impressionante”. Desanimado por seu fracasso, ele deixou sua criação inanimada. Logo que o Diabo veio, olhou com satisfação para este ser único, mas sem vida e deu vida a ele. “Aquele era Walther Nernst” (CROPPER, 1987, p. 3).

A Alemanha neste período era referência nos estudos sobre Química (COMASSETO e SANTOS, 2008). Esse foi o principal motivo para Lewis ir para esse país, com a intenção de qualificar seus estudos sobre a Química, mas especificamente em físico-química com Nernst e Ostwald, os quais representavam na época o sucesso desta área.

Após o período de estudos na Alemanha, Lewis volta a Harvard, porém agora como professor. Nesse trabalho Lewis atuou durante três anos, aproximadamente, até se mudar para Filipinas (na época uma colônia estadunidense) para ser Superintendente de Pesos e Medidas em Manila.

Em 1905 Lewis volta para os Estados Unidos, para atuar no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), como professor assistente. Como seu supervisor Arthur Amos Noyes, com quem Lewis criou uma boa relação. Com algum tempo de trabalho, Noyes dispensou Lewis da tarefa de ministrar aulas, incentivando-o à elaboração exclusiva de pesquisas. Lewis passou sete anos fazendo parte da instituição e publicou um número significativo de artigos: “Lewis publica mais de três dezenas de artigos científicos, um número muito considerável para época, e atinge a categoria full professor” (MAIA, 2016, p. 25). Entre os artigos publicados neste período podemos destacar os artigos a seguir, por terem tido certa notoriedade e, provavelmente por conta disso, serem de fácil acesso até os dias de atuais:

Quadro 5: Exemplos de alguns dos artigos publicados por Lewis entre os anos de 1905 a 1911

Ano da publicação	Título do artigo
1906	An elementary proof of the relation between the vapour pressures and the composition of a binary mixture and a review of recent progress in physical chemistry. (Uma prova elementar da relação entre as pressões de vapor e a composição de uma mistura binária uma revisão do progresso recente na físico-química).
1907	Outlines of a new system of thermodynamic chemistry. (Esboços de um novo sistema de Química termodinâmica).
1908	A revision of the fundamental laws of matter and energy and the ionic theory. (Uma revisão das leis fundamentais da matéria e energia e a teoria iônica).
1909	The principle of relativity and non-Newtonian mechanics is the use and abuse of the ionic theory. (O princípio da relatividade e da mecânica não newtoniana é o uso e abuso da teoria iônica).

Fonte: Autores.

Em 1912 Lewis mudou-se para Berkeley, aceitando a proposta da Universidade da Califórnia e assumindo o cargo de presidência do Departamento de Química e a direção do College of Chemistry (HILDEBRAND, 1947). Assumindo seu cargo a partir de

algumas exigências feitas anteriormente, como boas condições de trabalho, incluído a construção de um prédio. A divulgação da inauguração do prédio construído para o departamento comandado por Lewis foi através da elaboração de um livreto (figura 7). O prédio negociado por Lewis ficou pronto no ano de 1917, e era direcionado especificamente para as pesquisas referentes à instrução técnica de físico-química, Química Inorgânica e Química nuclear.

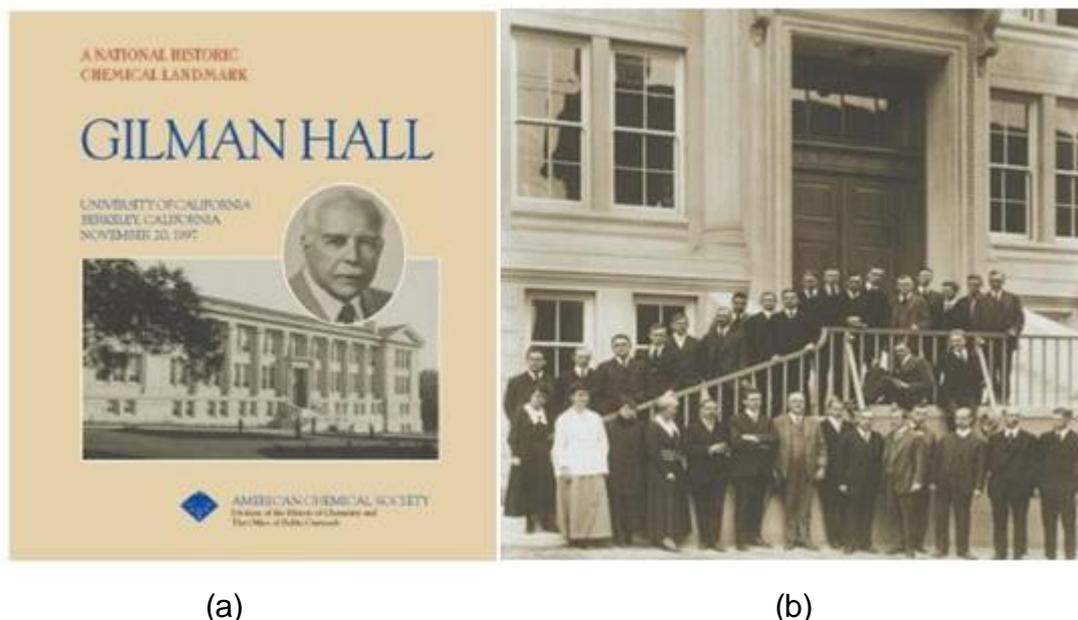


Figura 7: (a) Livreto de divulgação do prédio comandado por Lewis e (b) o grupo de pesquisa em frente ao prédio.

Fonte: Disponível em:

<https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/gilman/gilman-hall-at-the-university-of-california-berkeley-commemorative-booklet.pdf> Acessado em: 26/08/2022

Lewis, por ter esta característica de trabalhar em conjunto com um grupo e não se limitar em uma área específica, acabou contribuindo para diversas áreas da Química, ajudando no entendimento de muitos conceitos, como das ligações covalentes, noção da importância dos pares de elétrons livres das Ligações Químicas, aplicação da termodinâmica na Orgânica, reformulação dos conceitos de ligações polares e apolares, entre outros (SHAIK, 2006).

6.2.2 *Discutindo algumas produções de Lewis: aspectos centrais das discussões sobre as Ligações Químicas*

Para compreendermos os caminhos percorridos por Lewis para a construção das suas propostas referentes às LQ, podemos discutir e analisar três artigos publicados pelo cientista. O primeiro artigo, intitulado *Valence and Tautomerism* (Valência e

Tautomerismo) foi publicado no ano 1913, no *Journal of the American Chemical Society*. Também foi publicado na mesma revista o segundo artigo, intitulado *The Atom and the Molecule* (O Átomo e A Molécula), em 1916. O último artigo considerado fundamental para o entendimento da proposta de Lewis foi publicado no ano de 1923, *Introductory Address: Valence and the Electron* (Conferência Introdutória: Valência e o Elétron), publicado nas *Transactions of the Faraday Society*. Com a publicação desses três artigos, Lewis consegue apresentar sua proposta para a comunidade científica da época, com as explicações detalhadas de suas conclusões. Segundo Filgueiras (2016, p. 1262):

Gilbert Newton Lewis estabeleceu a primeira teoria de ligação química abrangente, que agrupava num único conceito todos os tipos de ligação química, permitindo mostrar relações entre substâncias iônicas, covalentes, moleculares e mesmo metálicas, até então sem qualquer nexos conceitual comum.

No primeiro artigo apresentado por Lewis, *Valence and Tautomerism* (Valência e Tautomerismo), ele não trata exatamente das LQ, mas traz conceitos considerados importantes para o futuro entendimento delas. A importância da discussão deste artigo se justifica uma vez que, mesmo não abordando exatamente as LQ, ou compartilhamento dos pares de elétrons, Lewis inicia algumas discussões que fundamentam as discussões de suas próximas publicações, que dissertam sobre a LQ. De acordo com o próprio autor, as concepções a respeito do par compartilhado foram desenvolvidas no ano de 1902, porém não publicadas, sendo levadas ao conhecimento público e amplo somente no ano de 1923.

Nesse artigo de 1913, Lewis começa argumentando sobre as definições abordadas por pesquisadores da época sobre valência. Ele destaca que a definição de valência surgiu apoiada nos estudos de Dalton, sobre a lei das proporções múltiplas, e que os pesquisadores devem apenas aceitá-las, “Assim, o termo valência tem sido usado na discussão de um grande número de ideias que talvez tenham nada mais em comum do que a aceitação da lei das proporções múltiplas de Dalton” (LEWIS, 1913, p. 1448).

A Lei das proporções múltiplas de Dalton explica que “em compostos diferentes formados pelos mesmos elementos, há uma razão simples entre o peso fixo de um elemento e os pesos variáveis do outro” (FILGUEIRAS, 2004, p. 42). Ou seja, determina os pesos atômicos e ajudou na evolução dos estudos sobre as combinações químicas. Essa definição de Dalton surge em consonância com a teoria atômica. Nos entendimentos de Lewis, os estudos sobre a Lei das proporções múltiplas é um passo importante para a compreensão da época sobre a valência, uma vez que depois dos estudos de Dalton uma especulação filosófica se transformou em fundamentação

científica, tornando possível falar sobre os átomos e as moléculas (LEWIS, 1923). Lewis segue sua discussão para um ponto chave:

Aparentemente, devemos reconhecer a existência de dois tipos de combinação química que diferem, não apenas em grau, mas em tipo. Para ilustrar os dois tipos, podemos escolher um sal como o cloreto de potássio e um hidrocarboneto de parafina como o metano. O primeiro tipo pode ser chamado polar, o segundo não polar (LEWIS, 1913, p. 1448)⁹.

Assim Lewis une a Química que era organizada em dois ramos, Inorgânica e Orgânica através dos tipos de Ligações Químicas, chamando de “combinações químicas” o que mais tarde assumiremos como as ligações iônicas (em suas palavras iniciais, *polar*) e covalentes (*não polar*). O principal foco nesse artigo era justamente introduzir as discussões a respeito desses dois tipos de ligação e para isso era importante algumas definições de termos e teorias estivessem claras. Esse artigo é importante porque serve como uma introdução, que trilhou a caminhada para que fosse possível a publicação dos artigos de 1916 e 1923, no qual a teoria de Lewis sobre as LQ é apresentada de uma forma mais clara.

Neste sentido, buscando explicar a valência, Lewis traz a explicação de alguns termos como número polar e número de valência. O número polar poderia ser positivo ou negativo. Já o número de valência é um número inteiro, descrevendo dois tipos de combinações possíveis, no qual a LQ poderia ser formada, com a transferência ou sem transferência de elétrons, remetendo ao compartilhamento de elétrons que foi abordado por Lewis alguns anos depois:

Em termos de teoria, o número de valência é o número de posições, ou regiões, ou pontos (terminais de ligação) no átomo em que a ligação¹⁰ aos pontos correspondentes em outros átomos ocorre; o número polar é o número de elétrons negativos que um átomo perdeu (em um sentido algébrico). Agora essas duas concepções são radicalmente distintas, e mesmo que nossas teorias devam ser expressas de alguma outra forma, a diferença no caráter desses dois números não poderia desaparecer (LEWIS, 1913, p. 1448).¹¹

⁹ *Apparently we must recognize the existence of two types of chemical combination which differ, not merely in degree, but in kind. To illustrate the two types we may choose a salt such as potassium chloride, and a paraffin hydrocarbon such as methane. The first type may be called polar, the second non-polar.*

¹⁰ *No original, o termo escolhido por Lewis é “attachment”. Sua tradução para o português como “ligação” não deve ser entendida diretamente como a ideia de “ligação química” especificamente representada em inglês pelo termo “bond”.*

¹¹ *In terms of theory the valence number is the number of positions, or regions, or points (bond-termini) on the atom at which attachment to corresponding points on other atoms occurs; the polar number is the number of negative electrons which an atom has lost (in an algebraic sense). Now these two conceptions are radically distinct, and even if our theories should be expressed in some other form, the difference in character of these two numbers could not disappear.*

Nesta definição descrita por Lewis, ele apresenta descrições que usamos hoje sobre o número de ligação (número de coordenação) com a descrição feita sobre o número de valência e o “número de oxidação” do átomo, quando fala sobre número polar (FILGUEIRAS, 2016). O número de valência pode demonstrar qual o número de possibilidades de combinações entre os átomos, que formam um composto químico. Mais à frente a ideia inicial a partir da qual Lewis se embasa modificará. Sendo que o número de valência não ajuda a distinguir se um composto é polar ou não:

Em alguns compostos pode ser difícil determinar, além de qualquer dúvida razoável, o real número de valência dos átomos, para o número de valência de um átomo em um determinado composto não precisa ser o número máximo de valência exibido pelo mesmo átomo em outros compostos. Assim, como é comumente feito, podemos atribuir ao carbono o número de valência dois no monóxido de carbono, e três no trifenilmetano. No caso do benzeno podemos atribuir a cada átomo de carbono o número de valência três ou quatro, de acordo com as propriedades do benzeno que parecem apontar para a ligação única dos átomos no anel ou à dupla ligação de pares alternados (LEWIS, 1913, p. 1451)¹².

Nesse artigo também apresenta a fórmula espacial das moléculas nos dois tipos de combinações, além de suas propriedades elétricas, justificando a boa capacidade de condução elétrica dos compostos polares:

Aos compostos imobilizados podemos atribuir uma espécie de estrutura de quadro, um arranjo fixo dos átomos dentro da molécula, que nos permite descrever com precisão as propriedades físicas e químicas de uma substância por uma única fórmula estrutural. A mudança do tipo não polar para o polar pode ser considerada, em certo sentido, como o colapso desta estrutura. A molécula não polar sujeita a condições variáveis mantém essencialmente um arranjo constante dos átomos; mas na molécula polar os átomos devem ser considerados como se movendo livremente de uma posição para outra, caindo ora em um lugar, ora em outro, como os pedaços de vidro em um caleidoscópio [...] Uma evidência, talvez, de fato, uma causa da mobilidade dos compostos polares, é a liberdade de um átomo especialmente importante, o átomo de eletricidade ou o elétron, para se mover de uma posição para outra. Essa mobilidade do elétron é responsável pelas propriedades elétricas marcantes das substâncias polares. Os compostos polares típicos são os eletrófilos típicos. A suposição de que em um composto polar existem cargas livres em certos pontos da molécula explica não apenas a tendência dessas substâncias de formar íons, mas também sua alta constante dielétrica (LEWIS, 1913, p. 1449-1450)¹³.

¹² *In some compounds it may be difficult to determine beyond reasonable doubt the actual valence number of the atoms, for the valence number of an atom in a, given compound need not be the maximum valence number exhibited by the atom in other compounds. Thus we may, as is commonly done, assign to carbon the valence number two in carbon monoxide, and three in triphenylmethyl. In the case of benzene we may attribute to each carbon atom the valence number three or four, according as the properties of benzene seem to point to the single bonding of the atoms in the ring or to the double bonding of alternate pairs.*

¹³ *To the immobil compounds we may ascribe a sort of frame structure, a fixed arrangement of the atoms within the molecule, which permits us to describe accurately the physical and chemical properties of a substance by a single structural formula. The change from the nonpolar to the polar type may be regarded, in a sense, as the collapse of this framework. The non-polar molecule, subjected to changing conditions, maintains essentially a constant arrangement of the atoms; but in the polar molecule the atoms must be*

Portanto, é possível perceber que Lewis traz para suas discussões um princípio claramente eletrônico, se referindo ao elétron como o “átomo da eletricidade”. É fundamental observar que a gênese de suas discussões articula propriedades das substâncias com teorizações. Nesse sentido, a discussão desse “átomo de eletricidade” é, por exemplo, trazida em termos das propriedades analisadas, como a constante dielétrica (passível de medição e de comparação no nível macroscópico de seus experimentos). Nessa articulação entre fenômeno e número (BACHELARD, 2008), usa termos específicos e que conhecemos, como eletrófilos, que são descritos por Lewis como a probabilidade de os compostos polares formar eletrólitos, e fala também em seu texto sobre a estrutura dinâmica, que é chamada de tautomerismo. Como uma consequência da mobilidade dos compostos polares destacados por Lewis, resulta o tautomerismo, em que diferentes estruturas existem em “equilíbrio móvel” e, portanto, “o composto se comporta como fosse uma mistura de duas diferentes substâncias” (LEWIS, 1913, p. 1449)¹⁴. Também descreve que:

Aos compostos polares e não polares podemos adicionar o terceiro, o metálico. No primeiro tipo os elétrons ocupam posições fixas no átomo. No segundo, os elétrons se movem livremente de átomo a átomo dentro da molécula. No terceiro tipo, ou metálico, o elétron é livre de se mover fora da molécula (LEWIS, 1913, p. 1454)¹⁵.

Mesmo estando claro para Lewis a classificação dos tipos de compostos (polares ou não polares), ele reconhece que algumas substâncias orgânicas possuem na mesma molécula regiões polares e não polares. Em uma nota de rodapé Lewis descreve uma característica dos compostos polares e não polares. Em suas palavras, “não se deve supor que um dado composto corresponda totalmente e sempre a qualquer um dos dois tipos” (LEWIS, 1913, p. 1449)¹⁶. Referente às ligações metálicas, estas são destacadas por Lewis podendo assumir comportamento metálico ou iônico dependendo das

regarded as moving freely from one position to another, falling now into one place, now into another, like the bits of glass in a kaleidoscope. (...) An evidence of, perhaps indeed a cause of, the mobility of polar compounds, is the freedom of one especially important atom, the atom of electricity or the electron, to move from one position to another. This mobility of the electron is responsible for the striking electrical properties of polar substances. The typical polar compounds are the typical electrophiles at certain points in the molecule explains not only the tendency of these substances to form ions, but also their high dielectric constant.

¹⁴ *The compound behaves as though it were a mixture of two different substances.*

¹⁵ *To the polar and non-polar types of chemical compound we may add a third, the metallic. In the first type the electrons occupy fixed positions within the atom. In the second type the electrons move freely from atom to atom within the molecule. In the third or metallic type the electron is free to move even outside the molecule.*

¹⁶ *It must not be assumed that any one compound corresponds wholly and at all times to either- one type.*

condições. Neste sentido, Lewis conclui seu artigo explicando “Todos os compostos químicos conhecidos podem ser agrupados nas três classes: não polar, polar e metálico; exceto na medida em que o mesmo composto pode, em parte ou às vezes, cair em dois desses grupos” (1913, p. 1455)¹⁷. Este trecho descrito por Lewis, é provavelmente a primeira distinção dos três tipos de LQ descrita por um químico (SHAIK, 2006).

Nesse artigo de 1913, o foco principal de Lewis foi apresentar as discussões a respeito da definição e as diferentes propriedades dos compostos, no qual busca classificar em três: polares, não polares e metálicas. No que tange à tríade de textos que fundamentarão a ideia de LQ proposta por Lewis, esse primeiro artigo foi o que pode ser chamado de introdução de suas ideias. A partir deste ponto as concepções a respeito das LQ seguiram em aprofundamento, e os próximos artigos qualificaram e expandiram as ideias iniciais.

Após três anos da publicação do primeiro artigo daquilo que seria visto futuramente como uma importante tríade, no ano de 1916, Lewis publica o artigo *The Atom and the Molecule* (O Átomo e a Molécula). Neste artigo Lewis rompe com o modelo dualista de Berzelius, argumentando que a Ligação Química acontece mais pelo compartilhamento de um par de elétrons do que pela transferência de elétrons. Dizendo de outro modo, Berzelius é relegado ao posto de “erro” ou “equivoco” no tocando às LQ a partir do princípio em que a discussão desenvolvida por Lewis apontará não para uma correlação entre cargas que respeitam a proposição de Coulomb, mas que se articularão por outro princípio de estabilidade que ainda mereceria maiores discussões, haja vista que a “não repulsão” de cargas iguais (como o elétron) desestabiliza a proposição berzeliana.

Desta vez, Lewis aponta a característica dos compostos polares, no qual os elétrons, por serem atraídos fracamente pelo respectivo átomo de origem, podem se deslocar de sua posição original:

Mesmo antes de fazer qualquer hipótese mais especial, podemos presumir com segurança que a diferença essencial entre a molécula polar e a não polar é que, na primeira [na polar], um ou mais elétrons são detidos por restrições suficientemente fracas, podendo se separar de suas antigas posições no átomo, e no caso extremo, passam completamente para outro átomo, produzindo assim uma molécula com um dipolo ou multipolo de alto momento elétrico. Assim, em uma molécula extremamente polar, como a de cloreto de sódio, é provável que pelo menos na grande maioria dos moles o átomo de cloro tenha adquirido uma

¹⁷ All known chemical compounds may be grouped in the three classes: non-polar, polar and metallic; except in so far as the same compound may in part or at times fall under two of these groups.

carga unitária negativa e, portanto, o átomo de sódio uma unidade de carga positiva, e que o processo de ionização consista apenas em uma posterior separação dessas partes carregadas (LEWIS, 1916, p. 764)¹⁸.

Com as discussões apresentadas por Lewis é possível perceber que sua visão destaca as propriedades das moléculas apolares, assumindo que podem adquirir características polares na presença de outras substâncias polares ou em um meio ambiente. Sendo assim, explica que os átomos apolares têm suas propriedades características por terem seus elétrons com uma maior mobilidade:

Se, então, considerarmos a molécula apolar como aquela na qual os elétrons pertencentes ao átomo individual são mantidos por tais restrições que eles não se movem muito longe de suas posições normais, enquanto na molécula polar os elétrons, sendo mais móveis, movem-se de modo a separar a molécula em partes positivas e negativas, então todas as propriedades dos dois tipos de compostos tornam-se consequências necessárias dessa suposição, como podemos mostrar prontamente. Assim, compostos polares com suas partes móveis caem prontamente naquelas combinações que representam os poucos estados estáveis, enquanto as moléculas não polares, nas quais as partes são mantidas por restrições mais firmes, são inertes e não reativos, e podem, portanto, ser construídas numerosos estruturas complicadas da química orgânica (LEWIS, 1916, p. 764)¹⁹.

As discussões propostas por Lewis nesta parte inicial do artigo buscam reafirmar as explicações sobre a classificação das LQ, que já haviam sido apresentadas no artigo *Valence and Tautomerism* (Valência e Tautomerismo). Traz características das substâncias polares e não polares, afirmando que esta classificação poderia ser explicada somente a partir dos conhecimentos químicos, mas que o ideal seria explicar sua classificação a partir de uma teoria da estrutura atômica. Sendo assim, o autor começa a direcionar as discussões para o que foi chamado de “teoria do átomo cúbico”, proposta por Lewis.

¹⁸ *Even before making any more special hypothesis we may very safely assume that the essential difference between the polar and the nonpolar molecule is that, in the former, one or more electrons are held by sufficiently weak constraints so that they may become separated from their former positions in the atom, and in the extreme case pass altogether to another atom, thus producing in the molecule a bipole or multipole of high electrical moment. Thus in an extremely polar molecule, such as that of sodium chloride, it is probable that at least in the great majority of molecules the chlorine atom has acquired a unit negative charge and therefore the sodium atom a unit positive charge, and that the process of ionization consists only in a further separation of these charged parts.*

¹⁹ *If then we consider the nonpolar molecule as one in which the electrons belonging to the individual atom are held by such constraints that they do not move far from their normal positions, while in the polar molecule the electrons, being more mobile, so move as to separate the molecule into positive and negative parts, then all the distinguishing properties of the two types of compounds become necessary consequences of this assumption, as we may readily show. Thus polar compounds with their mobile parts fall readily into those combinations which represent the very few stable states, while the non polar molecules, in which the parts are held by firmer constraints, are inert and unreactive, and can therefore be built up into the numerous complicated structures of organic chemistry.*

Portanto, Lewis aprofunda suas discussões sobre o compartilhamento do par de elétron. O modelo do par compartilhado foi chamado por Lewis de “teoria do átomo cúbico”. Partindo da lei de valência e contra valência de Abegg, Lewis buscou discutir a natureza das diferentes propriedades entre esses compostos. Ou seja, é através do conceito de valência proposto por Abegg (1904) que Lewis propôs o modelo do átomo cúbico para os elétrons compartilhados:

O valor 8 presente nas valências e contravalências tem, portanto, simples significância como o número que representa para todos os átomos, os pontos de ataque de elétrons; e o número do grupo ou valência positiva indica quantos dos 8 pontos de ataque devem conter elétrons para tornar o elemento eletricamente neutro (LEWIS, 1923, p. 30)²⁰.

Segundo Kohler (1975, p. 236), Lewis tentou “reconciliar as teorias concorrentes da Ligação Química e, numa época em que a maioria dos químicos pertencia a uma escola ou outra, o ecletismo de Lewis era distinto”. As teorias que Lewis foi considerado como reconciliador, podem ser caracterizadas pelos estudos de Werner, defendendo que a “transferência de carga era um fenômeno puramente secundário, não uma característica fundamental da LQ” (KOHLE, 1975, p. 236). Ao mesmo tempo, pesquisadores como Thomson e Abegg discutiam a favor da ligação de valência, que corresponde a transferência de elétrons.

Tornando pública sua proposta de 1902, Lewis (1923, p. 29)²¹ explica como surgiu à ideia sobre o átomo: “interessando-me pela nova teoria do elétron e combinando essa ideia com aquelas que estão implícitas na classificação periódica, formei uma ideia da estrutura interna do átomo”, na qual ainda estava “incompleta em muitos aspectos” (LEWIS, 1916, p. 767)²² e por isso não havia se arriscado a publicá-la anteriormente.

Apresentou em seu artigo de 1916 um modelo, no qual os elétrons de valência de um átomo se distribuem pelos vértices de um cubo, variando de 0 a 8 (figura 8). O modelo atômico de Lewis se diferenciava do modelo atômico de Bohr, construído posteriormente. Enquanto o modelo de Bohr iria enfatizar as órbitas, o de Lewis enfatizava as camadas eletrônicas, além de assumir já de início que o átomo era estático, porque, para Lewis,

²⁰ *The sum 8 of our normal and contra- valences possesses therefore simple significance as the number which for all atoms represents the points of attack of electrons; and the group- number or positive valence indicates how many of the 8 points of attack must hold electrons in order to make the elemento electrically neutral.*

²¹ *Becoming interested in the new theory of the electron, and combining this idea with those which are implied in the periodic classification, I formed an idea of the inner structure of the atom.*

²² *Partly because it was in many respects incomplete.*

parecia evidente que assim como a estrutura das moléculas era rígida, os elétrons também apresentariam esta mesma característica. Essa noção foi repensada por Lewis e no seu artigo de 1923, entendendo que a teoria atômica de Bohr e a sua teoria poderiam se complementar, explica que a densidade do elétron (enquanto onda) na molécula é estática, mas se assumido como partícula poderia desenvolver um movimento rápido.

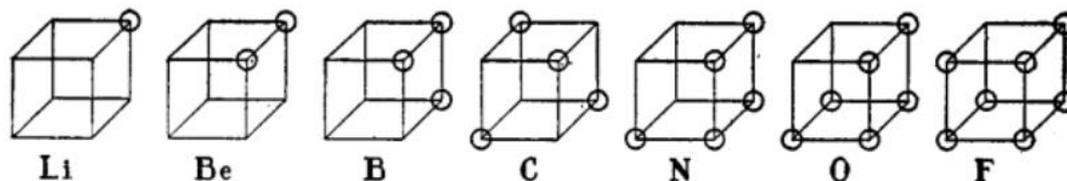


Figura 8: Modelo de estrutura atômica proposto por Lewis.
 Fonte: Lewis (1916, p. 767).

Para melhor organizar e explicar suas ideias a respeito do átomo cúbico Lewis apresenta seis regras sobre o modelo:

1. Em cada átomo há um núcleo essencial que permanece inalterado em todas as mudanças químicas ordinárias e que possui um excesso de cargas positivas que correspondem em número ao número ordinal do grupo na tabela periódica ao qual o elemento pertence; 2. O átomo é composto do núcleo e de um átomo ou casca externa, que, no caso do átomo neutro, contém elétrons negativos em número igual ao excesso de cargas positivas do núcleo, mas o número de elétrons na camada pode variar durante a mudança química entre ou meados de 8; 3. O átomo tende a reter um número par de elétrons na camada, e especialmente a reter oito elétrons que normalmente estão dispostos simetricamente nos oito vértices de um cubo; 4. Duas camadas atômicas são mutuamente interpenetráveis; 5. Os elétrons podem normalmente passar com prontidão de uma posição na camada externa para outra. No entanto, eles são mantidos em posição por restrições mais ou menos rígidas, e essas posições e a magnitude das restrições são determinadas pela natureza do átomo e de outros átomos que são combinados com ele; 6. As forças elétricas entre partículas muito próximas não obedecem à simples lei dos quadrados inversos que se mantém a distâncias maiores (LEWIS, 1916, p. 768)²³.

²³ 1. In every atom is an essential kernel which remains unaltered in all ordinary chemical changes and which possesses an excess of positive charges corresponding in number to the ordinal number of the group in the periodic table to which the element belongs. 2. The atom is composed of the kernel and an outer atom or shell, which, in the case of the neutral atom, contains negative electrons equal in number to the excess of positive charges of the kernel, but the number of electrons in the shell may vary during chemical change between 0 and 8. 3. The atom tends to hold an even number of electrons in the shell, and especially to hold eight electrons which are normally arranged sym-metrically at the eight corners of a cube. 4. Two atomic shells are mutually interpenetrable. 5. Electrons may ordinarily pass with readiness from one position in the outer shell to another. Nevertheless they are held in position by more or less rigid constraints, and these positions and the magnitude of the constraints are determined by the nature of the atom and of such other atoms as are combined with it. 6. Electric forces between particles which are very close together do not obey the simple law of inverse squares which holds at greater distances.

Analisando de modo geral as regras estabelecidas por Lewis é possível perceber alguns pontos que ajudam a entender a proposta que estava sendo apresentada. Na primeira regra sobre o modelo do átomo cúbico, Lewis apresenta a existência de um núcleo que se mantinha inalterado, lembrando a proposta de Thomson referente ao modelo atômico. Sobre a teoria de Thomson em seu livro publicado em 1923 Lewis descreve:

Thomson não fez mais uso dessa ideia, e sua visão da esfera positiva foi substituída. No entanto, a sugestão de que um entendimento da afinidade química deve ser buscado na localização das cargas dentro do próprio átomo contém o germe da explicação final bem sucedida da ligação química (LEWIS, 1923, p. 74)²⁴.

O modelo atômico de Thomson explicava que na Ligação Química cada um dos átomos do composto possuía uma carga negativa ou positiva, explicava bem a formação dos compostos polares e inorgânicos, mas não era capaz de explicar a formação dos compostos orgânicos e não polares, “Mas Lewis sozinho em 1916 propôs a primeira teoria alternativa bem sucedida do papel do elétron na formação de ligações não polares” (STRANGES, 1984, p. 187).

As primeiras regras de Lewis estabelecem a regra dos oito, futuramente reconhecida como a regra (ou teoria) do octeto, explicando que durante a reação química o número de elétron pode mudar, obtendo no máximo oito elétrons. “Nestes postulados, Lewis faz uma dissecção eficaz do átomo, foca na parte importante da camada de valência e estabelece a regra do octeto como um limite superior para mudança eletrônica” (SHAIK, 2006, p. 55). Nas últimas regras ele explica que, ainda que os elétrons consigam trocar de posição na camada de valência, eles são mantidos em posição por estruturas rígidas, limitações que são causadas pela natureza do átomo e dos átomos a ele ligados. Ainda, por último, desconsidera a Lei de Coulomb, pois entende que ao diminuir a distância entre dois átomos ligados, ocorre a inversão da força, ou seja, prevalece a repulsão entre eles. Sendo assim, existe uma distância de equilíbrio

²⁴ Thomson made no further use of this idea, and his view of the positive sphere has been superseded. Nevertheless, the suggestion that an understanding of chemical affinity must be sought in the localization of the charges within the atom itself contains the germ of the final successful explanation of the chemical bond.

no qual os átomos permaneceriam em uma “linha que une os dois centros” (LEWIS, 1916, p. 772) e a partir desta distância exata, deste equilíbrio encontrado ocorre a LQ.

Em seguida, uma seção do artigo de Lewis é chamada de *Molecular Structure* (estrutura molecular) explicando que “um elétron pode ser propriedade comum de duas camadas atômicas” (LEWIS, 1916, p. 775), iniciando as discussões a respeito do par de elétrons compartilhado. Esta proposta de Lewis, assim como mencionado anteriormente, descreve que os elétrons emparelhados não se repelem, como previsto pela Lei de Coulomb. Em seu artigo Lewis explica o compartilhamento de um par de elétrons entre dois átomos de iodo, no qual, um dos átomos de iodo é representado com oito elétrons em sua camada mais externa, enquanto o outro átomo de iodo é representado com seis elétrons em sua última camada de valência (figura 9). Demonstrando através de seu modelo de átomo cúbico:

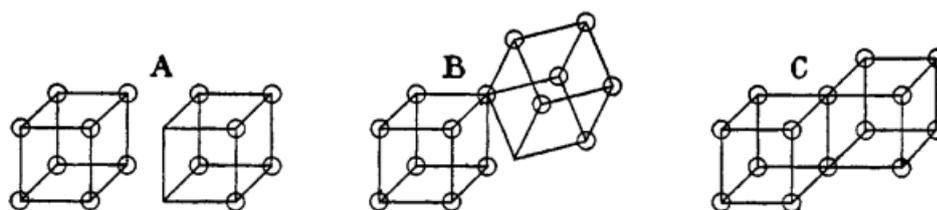


Figura 9: Acoplamento possível para o compartilhamento eletrônico, para a molécula não polar I₂.

Fonte: Lewis (1916, p. 775).

Deste modo, Lewis consegue propor um modelo que satisfaz a construção das fórmulas das moléculas orgânicas e das moléculas inorgânicas. Explicando o modelo do átomo cúbico de Lewis, Coffey (2008, p. 135) (figura 10)²⁵ descreve:

À medida que se move através de uma das duas primeiras fileiras completas da tabela periódica, cada átomo adiciona um elétron a um canto do cubo. Quando a primeira fileira da tabela periódica é preenchida, a segunda fileira começa a construir uma nova casca cúbica envolvendo o cubo preenchido pela primeira fila.

²⁵ Na representação utilizada os átomos de enxofre e cloro estão com seis elétrons nos vértices do cubo, o correto seria representar o enxofre com seis elétrons e o cloro com sete elétrons, considerando sua posição na tabela periódica.

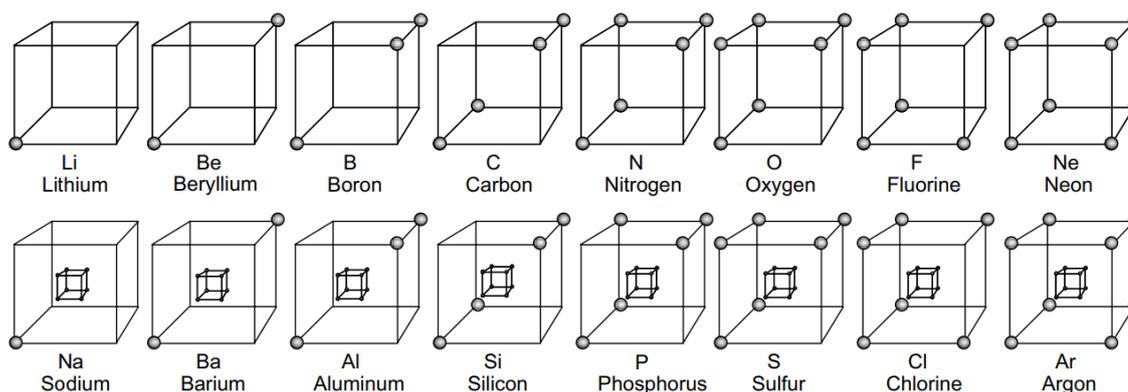


Figura 10: As duas primeiras fileiras da tabela periódica, mostrando o modelo cúbico de Lewis para o átomo.

Fonte: Coffey (2008, p. 135).

Deste modo, a grande diferença de eletronegatividade poderia ocasionar a transferência total de um par de elétrons para outro átomo evidenciando a formação dos compostos iônicos, ou seja, a formação de íons positivos e negativos. É possível explicar a ligação iônica a partir da formação do cloreto de sódio, no qual o sódio transfere um elétron para o átomo de cloro, tornando seu cubo sem elétrons, enquanto o cubo que representa o átomo de cloro preenche todos os seus vértices, completando oito elétrons. Assim o átomo de sódio forma um íon positivo e o cloro forma um íon negativo.

Porém, levando em consideração o átomo de hidrogênio, percebe-se que acompanha as considerações sobre o hélio, de possuir dois elétrons “sendo completamente análoga à conclusão do cubo no caso de halogênios” (LEWIS, 1916, p. 777). A partir disso, Lewis propõe a ligação simples e dupla entre os átomos, na figura abaixo representasse a ligação dupla no qual quatro elétrons são mantidos juntos por dois átomos (figura 11). também representada pelo seu modelo:

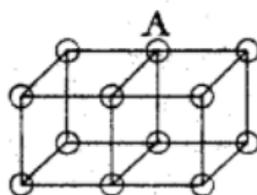


Figura 11: Formação da ligação dupla entre os átomos de oxigênio.

Fonte: Lewis (1916, p. 778)

Lewis também representa seu modelo buscando uma orientação espacial dos elétrons dos compostos (figura 12): “Podemos ir mais longe e dar uma fórmula completa para cada composto usando o símbolo do núcleo em vez do símbolo atômico comum e

juntando a cada símbolo um número de pontos correspondente ao número de elétrons na camada atômica” (LEWIS, 1916, p. 777)²⁶.

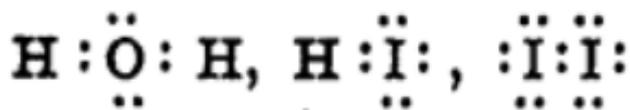


Figura 12: Compostos e suas respectivas estruturas espaciais de acordo com o convencionalizado por Lewis.
Fonte: Lewis (1916, p. 777).

Lewis aqui não traz uma discussão mais aprofundada, mas apresenta uma forma mais simples de representar os átomos, sem que seja necessário desenhar os cubos. Trazendo entendimento simples para explicar como os átomos se unem para formar as moléculas.

Ainda sobre a teoria proposta por Lewis, o artigo publicado por ele intitulado *Introductory Address: Valence and the Electron* (Conferência Introdutória: Valência e o Elétron) publicado nas *Transactions of the Faraday Society*, no ano de 1923, que foi posteriormente transformado em livro, traz grandes explicações sobre a proposta que o pesquisador vinha mostrando em seus artigos anteriores sobre a valência, união dos átomos e sobre a Química Orgânica e Inorgânica.

O início de seu artigo apresenta a posição de Lewis sobre a visão diferente entre os químicos e físicos da época a respeito dos temas de estudo. Nesta ocasião, mais especificamente sobre a estrutura dos átomos, discussão que estava bastante presente no século XX, Lewis, como físico-químico, colocava-se como “mediador” desses dois pontos de vistas distintos:

Gostaria, no entanto, no início, de tirar vantagem desta oportunidade e expressar minha convicção de que as duas visões sobre a estrutura do átomo, uma derivada do estudo da química e uma derivada do estudo da física, que há alguns anos pareciam [completamente] incompatíveis, agora são completamente conciliáveis. Os fatos pareciam requerer um átomo da química estático, nos quais, os componentes essenciais deviam ser considerados como tendo um espaço sob orientação definida e permanente. Por outro lado, os fatos da espectroscopia, interpretados especialmente pela brilhante teoria de Bohr e também os fatos do magnetismo, indicaram a presença de elétrons em movimento rápido dentro do átomo. Agora que os físicos atribuem a cada elétron dentro do átomo sua própria órbita particular e assumem que essas órbitas são orientadas no espaço e não em um único plano, precisamos apenas postular que é a órbita como um todo e não o elétron em alguma posição dentro da órbita que é a pedra de construção da estrutura atômica e molecular, a fim de trazer,

²⁶ *We may go further and give a complete formula for each compound by using the symbol of the kernel instead of the ordinary atomic symbol and by adjoining to each symbol a number of dots corresponding to the number of electrons in the atomic shell.*

em harmonia completa, os resultados que foram obtidos por métodos físicos e químicos. No decorrer das seguintes observações, sempre que falo da localização de um elétron, será a posição da órbita como um todo que a significou (LEWIS, 1923, p. 452) ²⁷.

A noção trazida por Lewis esclarecendo a importância da órbita como um todo, colabora para o entendimento a respeito da formação dos compostos, uma vez que cada elétron possui sua órbita específica, ou seja, cada uma dessas órbitas o elétron apresenta energia constante, bem definida e característica. Segundo Lewis, essa concepção de Bohr definindo uma órbita específica para cada elétron possibilitou a eliminação dos elementos de conflito entre a visão do físico e do químico. A discussão entre essas duas áreas estava relacionada com o movimento dos elétrons do átomo, ou seja, questionava-se se a estrutura do átomo era estática ou dinâmica. Lewis, portanto, não tinha a intenção de estudar a estrutura do átomo, mas sim a estrutura final da LQ.

Vamos, portanto, agora tentar soldar essas diferentes visões em uma única teoria da estrutura atômica que, embora certamente possa reivindicar nenhum grau de finalidade, resumirá todas as evidências, químicas e físicas, que agora possuímos em relação à estrutura atômica (LEWIS, 1923, p. 56)²⁸.

O artigo escrito por Lewis é dividido em seções, nas quais reforçou a importância da órbita como um todo na formação da Ligação Química como algo mais fundamental do que propusera em 1916, onde expôs como sua teoria fundamentava os conceitos de valência e de Ligação Química, relacionando a existência de vários compostos com suas respectivas fórmulas estruturais.

Na seção intitulada “*The Electron Pair as the Chemical Bond*” (O Par de Elétrons como a Ligação Química) ele antecipa a questão da influência dos pares de elétrons não

²⁷ I should like, however, at the beginning to take advantage of this opportunity to express my belief that the two views regarding the structure of the atom, one derived from the study of chemistry and one derived from the study of physics, which a few years ago seemed so entirely incompatible one with another, are now completely reconcilable. The facts of chemistry seemed to require a static atom, in which the essential components were to be regarded as having a definite and permanent spatial orientation. On the other hand, the facts of spectroscopy, especially as interpreted by the brilliant theory of Bohr, and also the facts of magnetism, indicated the presence of rapidly moving electrons within the atom. Now that the physicists ascribe to each electron within the atom its own particular orbit, and assume that these orbits are oriented in space and not in a single plane, we need only to postulate that it is such an orbit as a whole, and not the electron in some one position within the orbit, which is the building stone of atomic and molecular structure, in order to bring into complete harmony the results which have been obtained by physical and chemical methods. In the course of the following remarks whenever I speak of the location of an electron it will be the position of the orbit as a whole that is meant.

²⁸ Let us therefore now attempt to weld these different views into a single theory of atomic structure which, while it certainly can claim no degree of finality, will summarize all of the evidence, chemical and physical, which we now possess regarding atomic structure.

ligantes na geometria das moléculas, reforçando ainda a importância do par de elétrons na Ligação:

Quando um par de elétrons está situado entre dois átomos e, portanto, pode-se dizer que pertence conjuntamente aos dois átomos, é o agente da união química. Quer estejamos lidando com compostos orgânicos ou inorgânicos, a ligação química é sempre um par de elétrons. (LEWIS, 1923, p. 454)²⁹.

Como um par de elétrons pode pertencer a dois átomos ao mesmo tempo, e de acordo com que Lewis já havia proposto no seu artigo em 1913, os elétrons eram responsáveis pela polarização da molécula, Lewis explica porque é considerado como um composto polar aquele que tem a tendência de transferência de elétrons:

Não é mais necessário assumir dois tipos de ligação química, nem é necessário acreditar que polarização em uma molécula, se ocorrer, deve continuar na medida em que um elétron é removido inteiramente de um átomo para outro. Se numa ligação realizada, o par [se encontra] a meio caminho entre dois átomos iguais, a molécula é completamente não polar; se é deslocada em algum grau, em direção a um dos átomos, esse átomo torna-se negativo em um grau correspondente. Quando a mudança ocorre para tal grau que, um átomo obtém a posse exclusiva do par, [...] a ligação [compartilhada] deixou de existir (LEWIS, 1923, p. 454)³⁰.

Portanto, Lewis tornou relevante sua consideração a respeito de sua teoria, sendo que a ligação que existe entre dois átomos é sempre associada ao par de elétrons. Explica de forma clara a ligação covalente, na qual os elétrons são compartilhados por dois átomos de forma igualitária; quando isso não acontece, e de alguma forma os elétrons são transferidos para um átomo apenas, deixando de ser compartilhado igualmente, esta molécula forma polos negativo e positivo, enquanto no compartilhamento perfeito de elétrons a molécula não possui polos, uma vez que os elétrons são igualmente compartilhados.

Em sua discussão, Lewis apresenta uma nova definição de valência, levando em consideração as novas percepções a respeito das LQ referentes à estabilidade do átomo de acordo com o par eletrônico. Sendo assim, a palavra valência foi definida por Lewis

²⁹ *When the electron pair is situated between two atoms and thus may be said to belong jointly to the two atoms, it is the agent of chemical union. Whether we are dealing with organic or inorganic compounds, the chemical bond is always such a pair of electrons.*

³⁰ *It is no longer necessary to assume two kinds of chemical bond, nor is it necessary to believe that electrical polarisation in a molecule, if it occur at all, must proceed to the extent that an electron is removed entirely from one atom to another. If a bonding pair is held midway between two like atoms, the molecule is completely non-polar; if it is shifted in any degree toward one of the atoms, that atom becomes negative in a corresponding degree. When the shift occurs to such a degree that one atom obtains exclusive possession of the pair...the bond has ceased to exist.*

como “número de pares de elétrons que o átomo em questão compartilha com outros átomos” (LEWIS, 1923, p. 455)³¹.

Na química orgânica, onde o conceito de valência tem sido mais definido e mais útil, a valência de um átomo é definida como o número de ligações que o anexam a outros átomos, sejam essas ligações simples ou múltiplas. Parece não haver mais nenhuma razão para se recusar a tornar essa definição universal, de modo que possa ser aplicada a compostos inorgânicos também. O uso dos termos de valência positiva e negativa pelo químico inorgânico mostrou-se enganoso na medida em que está implícito que podemos sempre atribuir a cada átomo em um composto um número polar definitivo ou estágio de oxidação. Quando é conveniente indicar o número polar, isso pode ser feito como sugeri em um capítulo anterior. Assim, em vez de dizer que o cobalto é bivalente em compostos de cobalto, devemos dizer que é bipositivo. Quando falamos de sua valência, nos referiremos, como em todos os outros casos, ao número de seus pares de ligação. Assim, íon cobalto livre tem valência zero, mas íon cobalto, que é ligado a quatro moléculas de amônia, é quadri valente. Em geral, portanto, podemos definir a valência de um átomo em qualquer molécula como o número de pares de elétrons que ele compartilha com outros átomos (LEWIS, 1923, p. 104)³².

Deste modo, Lewis explica que “a nova teoria da valência inclui como um caso especial a transferência completa de elétrons de um átomo para o outro” (LEWIS, 1923, p. 454). Com a inclusão de uma nova percepção, entendendo que é possível a transferência completa de um elétron, a definição antiga de valência, que é válida na Química Orgânica, é adaptada para ser usada também na Química Inorgânica. Enquanto a Química Orgânica descreve a valência como o número de ligações existentes entre os átomos, a Química Inorgânica entende a valência considerando o par de elétrons.

Neste artigo, Lewis traz uma discussão sobre os termos polar e não polar, destacando seu significado, explicando que por conta da mobilidade do par de elétrons, todas as LQ seriam “até certo ponto polares”. Com a publicação desse artigo Lewis traz as principais ideias sobre a ligação covalente, caracterizada pelo compartilhamento de

³¹ *The number of electron pairs which the atom in question shares with other atoms.*

³² *In organic chemistry, where the concept of valence has been most definite and most useful, the valence of an atom is defined as the number of bonds which attach it to other atoms, whether these bonds be single or multiple. There appears to be no longer any reason for refusing to make this definition universal, so that it may be applied to inorganic compounds as well. The inorganic chemist's use of the terms positive and negative valence was shown to be misleading in so far as it is implied that we can always ascribe to each atom in a compound a definite polar number or stage of oxidation. When it is expedient to indicate the polar number, this may be done as I have suggested in a previous chapter. Thus instead of saying that cobalt is bivalent in cobaltous compounds, we shall say that it is bipositive. When we speak of its valence we shall refer, as in all other cases, to the number of its bonding pairs. Thus free cobaltous ion has zero valence, but cobaltous ion, which is attached to four molecules of ammonia, is quadri valent. In general therefore we may define the valence of an atom in any molecule as the number of electron pairs which it shares with other atoms.*

pares de elétrons, além de apresentar um modelo representativo desta ligação, que ficou conhecido como estrutura de Lewis.

A proposta das LQ apresentadas por Lewis surge em um período em que a Química Orgânica e Inorgânica se estruturavam com bases diferentes, e por esse motivo havia na época uma discussão entre os cientistas. As substâncias poderiam ser organizadas até então em três classes: os compostos inorgânicos se baseavam nos estudos de Berzelius, que entendia a atração entre os átomos para formar as moléculas a partir de forças eletrostáticas; os compostos orgânicos não obedeciam a teoria de Berzelius, mas seguiam os estudos de Kekulé, Couper e outros, que explicavam as substâncias a partir do átomo de carbono “ que teria suas valências dirigidas para os vértices de um tetraedro e as ligações simples, dupla e tripla se davam pela união do tetraedro através dos vértices, arestas ou faces, respectivamente” (DAVANZO e CHAGAS, 1993, p. 152). E os compostos complexos que se caracterizavam pela associação dos compostos dos outros dois grupos, baseavam-se nos estudos de Werner, sobre a teoria de coordenação. Seria uma extensão da teoria orgânica, porém também trazia algumas aproximações com os estudos de Berzelius (DAVANZO e CHAGAS, 1993).

Além desses estudos, quando Lewis propõe suas concepções a respeito das ligações entre os átomos, a Química havia dado grandes passos na compreensão de como a matéria se constituía, acreditando na existência do átomo proposto por Dalton e do elétron proposto por Thomson. Portanto, quando discutimos os três artigos de Lewis conseguimos perceber a união desses estudos, assim como de outros estudos, para a proposição de sua teoria. O estabelecimento de partículas atômicas, o ressurgimento do atomismo e sua manutenção e o estudo a respeito da composição da matéria são grandes pontos do desenvolvimento da Ciência como um todo e também na construção do conceito de LQ que está sendo discutido neste trabalho.

Lewis em seus estudos traz uma junção de conhecimentos anteriores que colaboraram para fundamentação teórica do seu próprio estudo, propõe um novo conceito para o entendimento das LQ na área da Química, o compartilhamento dos pares de elétrons para a formação da molécula, chamada de ligação covalente. Portanto, na área da Química, buscando organizar suas ideias no sentido de seu ensino, o conceito proposto por Lewis pode ser categorizado como meta-conceito. Segundo Taber (2019, p. 39) “são os chamados de ‘metaconceitos’ que são formados refletindo sobre os próprios conceitos e como eles estão relacionados, ou como esses conceitos podem ser

operacionalizados para propósitos específicos”. Além disso, o conceito proposto por Lewis se caracteriza como meta-conceito uma vez que é a conceitualização formada não de algo considerado como existente na forma material, mas apenas como uma ideia. Deste modo, LQ podem existir no universo físico, mas a ligação covalente proposta por Lewis só existe de forma teórica. Embora seja puramente imaginário, isso não impediu de ser um conceito que tenha feito um trabalho real na disciplina de Química (TABER, 2019).

Mesmo que os estudos referentes às LQ tenham evoluído nos últimos tempos, com outras proposições científicas, os estudos de Lewis propostos alguns anos antes do surgimento da mecânica quântica, somados ao surgimento de novos modelos atômicos, se mostram ainda atuais, presentes na sala de aula de Ensino Médio. Sendo assim, além de apresentar uma visão histórica e epistemológica acerca deste conceito, mostra-se de grande valia olhar para o Ensino de Química e a produção deste conhecimento levando em consideração os princípios químicos que lhes deram origem.

7 As Ligações Químicas no Ensino de Química

O conceito de LQ proposto por Gilbert Newton Lewis, assim como outros conceitos químicos, necessita de certas bases teóricas para que possa ser ensinado e aprendido dentro da sala de aula do Ensino Médio. Como foi apresentado nesta dissertação, a proposta de Lewis considerou diferentes conhecimentos em seu processo de constituição. Sendo assim, é conveniente que quando este conceito for ensinado nas aulas de Química, os conceitos e a estrutura lógica que pauta a proposta de Lewis sejam também ensinados aos estudantes. Essa lógica descrita parece fazer todo o sentido, pois, se para Lewis propor uma explicação para união entre os átomos foram necessários outros conceitos, como o estudante irá entender este mesmo conceito proposto se não possui o conhecimento de conceitos anteriores e que constroem teoricamente o que está sendo ensinado? Esse processo permite que o professor traga para sala de aula de Química não somente os resultados, mas também o processo, a divergência de ideias e estudos – em outras palavras, mobilize elementos da história e da epistemologia no Ensino de Química.

Neste sentido, alguns conceitos se mostram de grande importância para o processo de ensino e aprendizagem das LQ propostas por Lewis. No ensino de Ciências e de Química, é fundamental pensar sobre os conceitos que ensinamos e quais conceitos nos ajudam seguir uma sequência didática que auxilie os estudantes na superação de obstáculos. Segundo Baldinato e Porto (2015, p. 168)

Não se trata aqui de estabelecer um tribunal historiográfico para condenar esta ou aquela abordagem, mas de destacar características de cada enfoque que devem ser consideradas pelo professor. Isso se justifica porque o modo como apresentamos a história da ciência reflete nossas concepções sobre o que é a ciência e como ela se constrói, além de obviamente influenciar a imagem que nossos alunos formarão sobre essa prática.

Sendo assim, alguns conceitos se mostram de grande importância para o processo de ensino e aprendizagem das LQ propostas por Lewis. O que organiza a escrita deste capítulo é refletir e (re)pensar o ensino de LQ atual presente no Ensino Médio, visto as inquietações provocadas ao escrever sobre a história e a epistemologia do conceito de LQ, percebendo a desconsideração das linhas conceituais construídas por Lewis no processo de ensino e aprendizagem contemporânea.

Quando é trabalhado o conceito de LQ em sala de aula é possível pensar e articular de forma didática uma maneira que este conceito possa ser compreendido pelos estudantes e ao mesmo tempo ajude-os a entender criticamente o mundo, assim,

relacionando o elemento humano com o conhecimento. A proposta de Lewis para sua teoria partiu das propriedades das substâncias, como a solubilidade, densidade, pontos de fusão e ebulição e como essas propriedades influenciavam nas Ligações Químicas. Em resumo: há todo um processo pautado em evidências macroscópicas que serão articuladas com proposições submicroscópicas, levando em consideração a formação de cargas eletrônicas, que atuava na atração ou repulsão entre os átomos para formar as moléculas e que são possíveis de serem representadas através de um nível simbólico. No ensino de LQ discutidas no Ensino Médio existe certa dificuldade por parte dos estudantes em compreender os níveis de representação da matéria (PAZINATO, 2016). Essas considerações se apoiam nas concepções do triângulo de Talanquer (2010) e do tetraedro de Mahaffy (2004) que descrevem o Ensino de Química a partir da articulação entre os vértices (figura 13).

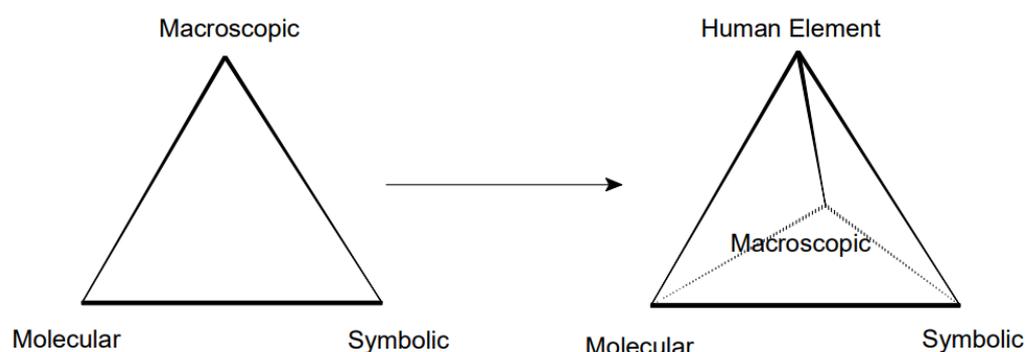


Figura 13: Representação da transformação do triângulo de Johnstone para o tetraedro de Mahaffy com ênfase no elemento humano.
 Fonte: (MAHAFFY, 2004, p. 231)

No sentido de esclarecer as relações objetivas que distribuem os elementos constitutivos do conhecimento químico escolar associado às LQ, é importante discuti-las iniciando pelo nível macroscópico, as alterações no arranjo ou interações entre os átomos constituintes da matéria causam mudanças que podem ser observadas (CEDRAN, KIOURANIS e CEDRAN, 2018). Quando estudamos a história do conceito de LQ podemos associar o nível macroscópico a um conceito importante para sua compressão: o conceito de valência. O termo valência está relacionado com a formação de substâncias ou com a aproximação entre elementos a ponto de ficarem unidos, porém, ao longo da história, sofreu algumas alterações. Como é apresentado no trabalho de Frankland (1864), o número de valência, determinado a partir das relações proporcionais de massa e/ou volume entre os reagentes e produtos de uma reação, era

igual ao número de ligações que determinado elemento poderia realizar. Centrada em relações macroscópicas, a valência permitia se chegar a uma proposição de relações entre entidades abstratas que dava origem à fórmula química de determinada substância. De uma noção pautada no nível macroscópico relativo a determinado quantitativo de substâncias interagindo, no início do século XX, com a proposição da existência de partículas posteriormente denominadas “elétrons” (THOMSON, 1897), a definição de valência passa a relacionar o número de ligações possíveis de um átomo não mais com uma quantidade palpável e objetivamente mensurável como a massa ou o volume, mas, agora, com uma entidade submicroscópica que se organizava aos pares e que constituem o centro das discussões sobre LQ dali por diante (LEWIS, 1916). Ou seja, historicamente, as definições de valência partem do nível macroscópico, que foca nas propriedades observáveis direta ou indiretamente da matéria, para o nível submicroscópico, que se pauta na existência de uma estrutura atômica não vista, não objetiva, mas idealizada.

Como é destacado por Johnstone (2000, p. 35), “o entendimento do nível submicroscópico é a força de nossa disciplina como atividade intelectual, e a fraqueza de nossa disciplina quando tentamos ensiná-la, ou o mais importante, quando os estudantes tentam aprendê-la”. Isso, pois, o nível submicroscópico, quando analisado pela perspectiva das LQ, permite discutir aspectos energéticos e cinéticos da formação das moléculas, bem como a interação e dispersão espacial das entidades que as constituem, estando, isso tudo, num nível que exige maturidade cognitiva e capacidade de articulação de diferentes conceitos para a produção de uma noção abstrata dotada de significado sobre o que seria uma “ligação”.

Não há correspondente real (no sentido de um real objetivo e direto ao sujeito cognoscente); não há meio fidedigno de representação (esta, por si mesma, finda com a abstração e a limita). Há, portanto, a necessidade de um salto entre um nível e outro, sendo que esse salto não traz garantias sobre o terreno no qual se aterrissará, principalmente porque ali, no campo da abstração, nem mesmo terreno há; há, no máximo, um espaço metafórico que necessita ser construído (PASTORIZA, 2015; BACHELARD, 1996). Por este motivo, é importante que o professor tenha em mente estratégias que possam colaborar para que o estudante compreenda o nível submicroscópico, visto que é também por meio do entendimento desse nível que se

constitui o conhecimento sobre LQ. Contudo, no salto que há que se dar, é preciso um elemento complementar, entendido, aqui, como o próprio nível simbólico.

No conceito de LQ o nível simbólico colabora no processo de ensino e aprendizagem por permitir o uso de representações que seccionam, delimitam e permitem o enfoque de determinado aspecto (dentre vários possíveis) dos demais níveis. Ferreira et al. (2007) destacam que usar representações no Ensino de Química têm por objetivo facilitar a visualização, colaborando para a construção de imagens mentais de entidades abstratas e, a partir disso, a compreensão da natureza de suas propriedades. Ainda que reconhecendo os limites de um “representar entidades abstratas”, é importante assumir que o processo representacional é ferramenta necessária tanto à comunicação entre os sujeitos quanto ao próprio processo de construção de ideias, sua ruptura e a construção de novas ideias (BACHELARD, 1996).

Referente ao conceito de LQ, na proposição de Lewis (1916), fortemente utilizada nos manuais didáticos, o nível representacional visa permitir a construção de uma explicação plausível para os dados instrumentais (macroscópicos, portanto) e para o processo de teorização da relação entre essas entidades (submicroscópico) a partir de um modelo centrado na ação da partícula elétron. As conhecidas fórmulas de Lewis têm as estruturas eletrônicas representadas por pontos, nas quais cada ponto representa uma partícula eletrônica. Esta organizada aos pares, contribuiria para o estabelecimento de interações com outras partículas-elétron e, quando provenientes de átomos distintos, poderiam constituir um arranjo de um par, representado por um traço, que restringiria o deslocamento espacial desses átomos e elétrons interagindo. Esse par formado por elétrons de átomos distintos, representados pelo traço, seria, então, denominado de “Ligação Química”. O traço entre dois átomos representando a Ligação Química foi utilizado pela primeira vez por Archibald Scott Couper, em 1858, sendo que Lewis segue assumindo esse modo de representação, mas revestindo-o de uma nova significação conceitual.

Traçar as relações entre os níveis (macroscópico, submicroscópico, simbólico e humano) nos permite analisar a constituição de um pensamento químico que se pauta num processo de constituição da área disciplinar da Química. Isso é legítimo, haja visto que a constituição de um conhecimento aprofundado passa pela imersão em aspectos próprios de cada área do conhecimento e, por isso, a característica disciplina segue, ainda em nosso tempo, sendo relevante. Todavia, na atualidade, quando voltamos aos

processos de ensino escolarizado, teorias de aprendizagem têm ratificado a importância da articulação do “novo” conhecimento com aquilo que esse ser aprendiz já conhece. Disso, falar de LQ a partir dos níveis pode ser entendido como um modo de produzir um conhecimento químico, sim, mas ainda restrito. No contexto contemporâneo em que se observam as articulações e os efeitos diretos da Ciência com a vida humana, localizar como os conhecimentos, como a própria LQ, são produzidos nesse contexto e nessas relações mostra-se elemento importante para a formação de cidadãos e cidadãs socialmente implicados, historicamente situados e conceitualmente apropriados, possibilitando a associação com o nível que se conecta com o elemento humano.

Desse modo, o nível humano que se estabelece em relação às LQ possibilita reconhecer os efeitos e os processos que envolvem a vida cotidiana, criando posicionamentos e desenvolvendo maiores relações entre as ideias, e tende a colaborar para as possibilidades de emprego e utilização das ferramentas conceituais que são desenvolvidas pela educação formal. Por exemplo, questões históricas e epistemológicas relacionadas com o conceito de LQ podem colaborar no processo de ensino e aprendizagem, dado que essas questões criam uma perspectiva humanizada da produção da ciência, marcando seus avanços, retrocessos, colaborações, discussões, criações e dinâmicas que potencializam tanto o caráter temporário da construção científica quanto do constante processo de criação de modelos explicativos. Nesse aspecto, como destacado por Lopes (1997, p. 565):

A história das ciências não só fornece elementos que permitem compreender mais claramente os conceitos científicos, como também permite questionar a visão do senso comum acerca do conhecimento científico enquanto um conhecimento derivado da experiência e da observação imediata.

Considerando as concepções históricas e epistemológicas das LQ é possível trazer para sala de aula de Química o conceito a partir dos níveis, as ligações entre átomos constituem uma das bases elementares da Química, podendo explicar e entender as principais propriedades das substâncias (FREITAS, 1999). Deste modo, é importante o professor apresentar aos estudantes conceitos e teorias que possibilitem a construção do conhecimento que está sendo trabalhado, com explicações que permitam o estudante fazer relações, entendendo como surge a teoria. Segundo Fernandez e Marcondes (2006, p. 20):

Mesmo após uma educação formal em Química, os estudantes apresentam falhas na compreensão dos conceitos químicos e não conseguem fazer relações importantes. Além disso, deve-se ressaltar o fato há muito conhecido de que os

alunos apresentam explicações para os fenômenos muitas vezes diferentes daquelas que seriam aceitáveis cientificamente (concepções alternativas).

Deste modo, tentando buscar uma forma metodológica que contribua no processo de ensino e aprendizagem, se sugere a possibilidade de utilização das próprias concepções de Lewis no ensino de LQ na sala de aula de Ensino Médio. Considerando a história e a epistemologia do conceito, o professor pode organizar sua prática de acordo com os níveis macroscópico, submicroscópico, simbólico e humano, uma vez, a natureza do conceito de Lewis perpassa por esses níveis e estruturam a própria área do Ensino de Química.

Portanto, pensando nas ligações iônicas e covalentes, Lewis propôs que as principais propriedades das substâncias (nível macroscópico) eram o resultado da mobilidade dos elétrons (nível submicroscópico). Ou seja, os átomos organizados por elétrons de maior mobilidade, que se referem à liberdade do elétron de se mover de uma posição para outra, é uma característica da ligação polar (iônica); já os átomos organizados com os elétrons com menor mobilidade são as ligações apolares (covalente).

No Ensino de Química contemporâneo as LQ são explicadas não pela mobilidade de elétrons que influencia na formação de cargas eletrônicas, como foi apresentado nos estudos de Lewis a partir de uma visão submicroscópica. O ensino de LQ é frequentemente relacionado com o que é chamado de “regra do octeto”, uma visão associada ao nível simbólico. Importante destacar que para explicar seu modelo atômico Lewis baseou-se na regra do octeto, que explica a estabilidade do átomo com a existência de 8 elétrons em sua camada de valência. Outros estudos também já evidenciaram a regularidade das discussões a respeito da regra do octeto para explicar as ligações no livro didático (PAZINATO, 2016).

No Ensino de Química é interessante problematizar as concepções de Lewis como um todo. Todavia, o que vemos hoje em dia é a utilização simplista da regra do octeto para explicar a ligação entre os átomos, desconsiderando os níveis submicroscópico, macroscópico e humano focando especialmente no nível simbólico. Esse ponto merece uma atenção: se no ensino do conceito pode ser explicada a Ligação Química através da mobilidade dos elétrons e junto discutir as propriedades características das substâncias, justamente o que fez Lewis, por que por muitas vezes os estudos se resumem na regra do octeto?

A proposta de Lewis utiliza a regra do octeto para formular seu modelo atômico, utiliza essa discussão para justificar suas concepções, porém não se restringe somente a esse ponto; a sua teoria é baseada claramente nas propriedades distintas de cada substância o que ocasiona na formação de três tipos de Ligações Químicas: iônica, covalente e metálica. Por isso, cabe ao professor pensar sobre sua prática, sobre qual caminho seguir para que o ensino faça mais sentido para o estudante, articulando com o nível humano.

No Ensino de Química é compreensível a utilização da regra do octeto para explicar a estabilidade dos átomos que formam a Ligação Química, uma vez que essa explicação está regularmente presente nos livros didáticos que são utilizados pelos professores, que se mostra como um recurso didático útil e oportuno em sala de aula. “No ensino de Ciências, os livros didáticos constituem um recurso de fundamental importância, já que representam em muitos casos o único material de apoio didático disponível para alunos e professores” (VASCONCELOS e SOUTO, 2013, p. 93).

A proposta de Lewis a respeito das LQ abordadas nos livros didáticos dificilmente apresenta seus estudos anteriores ou a natureza do conceito, mas de uma forma ou outra trazem relações claras de sua proposta. Descrevendo de forma geral a explicação presente em alguns livros didáticos, como de Peruzzo e Canto (2006) e Sardella (2003) explicam as LQ basicamente pela regra do octeto baseando-se na estabilidade do átomo encontrados na família dos gases nobres. Porém o livro de Peruzzo e Canto (2006) trazem um subtítulo que descreve algumas exceções da regra. Santos e Mól (2010) partem do tema relacionado com a produção de alimentos, explicam a Ligação Química através da formação de íons, resultante na atração e repulsão de cargas. Porém também trazem relações com a busca da estabilidade dos átomos devido a necessidade de atender a regra do octeto. Explica de forma rápida e sucinta algumas de suas exceções, além de relacionar a regra do octeto com a tabela periódica, nos quais os grupos podem indicar a tendência dos átomos em doar ou receber elétrons.

Já o livro didático de Mortimer e Machado (2010) começa as discussões das LQ explicando sobre a propriedades da matéria, não menciona a regra do octeto, explica que “as substância se formam porque os átomos tendem a um estado energético mais estável, de menor energia” (2010, p. 257).

Atentando-se aos anos de publicação dos livros didáticos percebe-se que o entendimento sobre as LQ relacionadas à regra do octeto, por mais que ainda presente

no Ensino Médio, já começam a ser repensadas. No livro publicado em 2006, por mais que aborde de forma mais direta as ligações baseadas na regra, traz certas discussões sobre suas exceções. Nos livros publicados no ano de 2010, um deles não aborda a regra do octeto e outro destaca a não regularidade da regra, e chama a atenção para a existência de limitações das teorias na Química.

Deste modo, destaca-se o papel do professor em relação à utilização do livro didático e como vai abordar as discussões que estão presentes. Três dos quatro livros mencionados dão margem para que o professor ressalte as limitações e exceções da regra do octeto. É importante destacar que os livros didáticos mencionados trazem discussões sobre a propriedade das substâncias, mas apenas o livro de Mortimer e Machado (2010) aborda no mesmo capítulo e relacionam de forma mais integrada.

A proposta de Lewis a respeito das LQ é baseada nas propriedades das substâncias, e todos os livros tratam das ligações covalentes e ligações iônicas, que são conceitos abordados e discutidos a partir de sua proposta. Mesmo assim, a forma como é abordada se difere da natureza do conceito. Essa relação entre a estabilidade do átomo e a regra do octeto pode ser um exemplo da noção de tradição existente na disciplina de Química. A respeito da tradição, Pastoriza (2021, p. 3) destaca:

evidencia-se um processo de legitimação pautado mais numa referência a um costume, a um processo longínquo que sempre ocorreu e que, portanto, se legitima no tempo remoto de sua existência, do que por conta de um motivo racionalizado [...] A esses elementos históricos e suas caracterizações, os quais são muitas vezes menos lógicos que ontológicos, os tenho denominado simplesmente de 'tradição', que antes mesmo de poder ser questionada, impõe-se (em diferentes níveis e intensidades) aos conteúdos e sujeitos que atuam no campo escolar.

O ato de seguir uma tradição, de conceitos serem trabalhados no Ensino de Química “desde sempre” pode intimidar ou dificultar a problematização do conceito por parte do professor da disciplina. É difícil quebrar com a tradição, movimentar-se no sentido contrário exige determinação e conhecimento a respeito do que está sendo ensinado. A regra do octeto é importante, e foi um conceito abordado por Lewis em determinado ponto de seu estudo, mas não deveria ser vir como o princípio, o principal do ensino de Ligações Químicas. Essa concepção pode limitar a construção dos conhecimentos químicos dos estudantes.

A proposta de Lewis possibilita ao professor estabelecer uma relação entre as propriedades macroscópicas e submicroscópicas da substância, ou seja, o professor, com a intenção de ensinar os conceitos de Química, considera as propriedades, a

construção e as transformações das substâncias. O entendimento a respeito das propriedades das substâncias leva os estudos de Lewis para a compreensão sobre a estrutura da matéria. Conforme apontam Vasconcelos e Julião (2011, p. 139):

Ligação química é, sem dúvida, um dos principais tópicos estudados em Química. Uma completa compreensão dos conceitos relacionados às ligações químicas é essencial para o entendimento de muitos outros tópicos em Química, tais como reações químicas, diferenciação entre íons, moléculas, compostos metálicos e formação dos compostos de carbono, além de fornecer subsídios para o entendimento das muitas transformações que ocorrem em nosso mundo. Entretanto, a atual abordagem adotada no Ensino Médio para esse tema parece ser inconveniente, e isso é consequência de uma linguagem fragmentada, que envolve muitos conceitos que são inadequadamente conectados.

Deste modo, poderia destacar a importância dos estudos a respeito dos modelos atômicos, que apresentavam concepções a respeito da partícula que constitui a matéria, o átomo. Especificamente neste caso, os modelos de Dalton, Thomson e Bohr podem ser considerados no processo de ensino e aprendizagem do conceito de LQ proposto por Lewis. Além do que, no Ensino de Química, a abordagem das diferentes proposições a respeito de distintos modelos atômicos possíveis para explicar a matéria pode colaborar para que os estudantes entendam a Ciência como um processo de construção, não entendendo a Ciência como algo pronto e inquestionável.

Nessa perspectiva apontada, percebe-se que podem existir várias representações da realidade, tanto para o mesmo sujeito em relação a um conceito científico, quanto para um mesmo conceito, em diferentes contextos históricos. Esta questão é de fundamental importância para o Ensino de Química e para a formação do licenciado em Química, na medida em que coloca a questão do ensino e da formação do professor numa abordagem contextual, com base na história e na filosofia da Ciência, contribuindo para um ensino mais crítico, porque apoiado numa concepção de ciência como produto cultural da humanidade e, portanto, sujeito a erros, conflitos e constantes retificações (LÔBO, 2007, p. 95).

O estudo sobre os modelos atômicos permitiram a validação da existência do elétron (nível submicroscópico, e ainda assim um conceito-objeto), que para os estudos de Lewis é de extrema importância, uma vez que sua teoria se fundamenta sobre o conceito de par de elétrons. No Ensino de Química a compreensão da existência do elétron permite um grande avanço, pois com ele é possível compreender a estrutura do átomo, mecanismos de reações químicas e a posição dos elementos na tabela periódica, além de fomentar o desenvolvimento da mecânica quântica e ajudou na proposição do conceito abordado ao longo desta dissertação, as Ligações Químicas.

O entendimento a respeito núcleo e eletrosfera é importante para que os estudantes tenham compreensão de como as moléculas se formam. Entender a

localização dos elétrons, a interação eletrostática entre o elétron e o núcleo do átomo é fundamental quando se busca explicar a proposta de Lewis para as Ligações Químicas.

Os estudos de Lewis basearam-se nos modelos atômicos citados, porém pensando em explicar a ligação entre os átomos, atentando-se para uma visão Química e relacionando com sua concepção, Lewis propõe seu próprio modelo atômico, que curiosamente não costuma ser abordado na sala de aula de Química quando é explicado as Ligações Químicas. O modelo atômico de Lewis além de ajudar na explicação e no entendimento da sua proposta de ligação e também na própria concepção de átomo, estrutura da matéria, relaciona-se com alguns conceitos químicos, que podem ser trabalhados em sala de aula como estrutura atômica, configuração eletrônica e tabela periódica, entre si e com algumas propriedades submicroscópicas da matéria. O modelo atômico de Lewis pode ajudar o estudante a formar um elo significativo entre o abstrato e o concreto.

Neste mesmo sentido, o modelo atômico de Lewis conhecido como “modelo do atômico cúbico” (nível simbólico) traz ao modelo químico uma visão tridimensional, que na Química colaborou para os processos de ensino e aprendizagem³³, por ajudar no entendimento da geometria das moléculas e sua visualização, que possibilita inclusive a relação com as próprias propriedades de cada substância.

O modelo atômico proposto por Lewis com intenção de explicar a formação da união entre os átomos não é utilizado nas aulas de Química atualmente. É relevante considerar que o modelo proposto por Lewis tem suas limitações, porém, para explicar o compartilhamento dos pares de elétrons, nas ligações covalentes poderia ser de grande valia no ensino atual da Química. Considerando alguns livros didáticos, como o de Peruzzo e Canto (2006), Santos e Mól (2010), Sardella (2003) e Mortimer e Machado (2010), os autores nem sequer mencionam o modelo atômico quando tratam da ligação proposta por Lewis. Ou seja, os estudos das LQ presentes no Ensino Médio atual consideram o conceito de Ligação Química proposto por Lewis, mas não apresentam o modelo de átomo que ajudou na validação conceitual da proposta. Ao invés disso, são utilizados outros modelos atômicos, comumente o modelo Bohr. Como é evidente nos

³³ *No ano de 1902 (enquanto tentava explicar para uma classe elementar em química algumas das ideias envolvidas na lei periódica) me interessando pela nova teoria do elétron e combinando essa ideia com aquelas que estão implícitas na classificação periódica, formei uma ideia da estrutura interna do átomo[...]* (LEWIS, 1923, p. 29).

livros de Santos e Mól (2010), que explicam a ligação covalente a partir da atração entre o núcleo do átomo com o elétron do outro, utilizando o átomo de Bohr. Sardella (2003) também utiliza em seu livro o modelo atômico de Bohr, mas neste caso para explicar as ligações iônicas entre o sódio e o cloro. De outro modo, Mortimer e Machado (2010) não utilizam representação de Lewis do átomo, e sim a representação de nuvens eletrônicas quando fala de ligações covalentes.

A utilização do modelo atômico proposto por Lewis poderia ajudar na compreensão da natureza das Ligações Químicas, permitindo que os estudantes entendam a construção e os modelos que ajudaram na validação do conceito pela comunidade científica. A utilização do modelo atômico cúbico de Lewis ajudaria na compreensão do surgimento da regra do octeto, no qual os elétrons de valência de um átomo se distribuem pelos vértices de um cubo, variando de 0 a 8. Não resumindo a estabilidade do átomo a esta concepção, o que pode contribuir para a dificuldades dos estudantes nas concepções da estabilidade dos compostos, uma vez que resume a união dos átomos à necessidade de atender a regra do octeto (MORTIMER, MÓL e DUARTE, 1994) que por muitas vezes desconsideram os estudos das propriedades das substâncias e a da estrutura da matéria que foram os grandes conceitos considerados na proposição das LQ de Lewis.

Buscando representar de forma simples as LQ entre os átomos, Lewis propõe o que ficou conhecido como estrutura de Lewis (nível simbólico). Para compreender seu modelo, é importante entender que a matéria é composta por átomos e os átomos possuem um núcleo com carga positiva e elétrons com cargas negativas. Esse modelo é utilizado até hoje nas aulas de Química e também estão presentes nos livros didáticos. Peruzzo e Canto (2006) e Santos e Mól (2010) em seu livro utilizam a representação de Lewis para explicar as ligações iônicas, no qual o núcleo do átomo é representado por um símbolo de elemento, os elétrons por pontos ao seu redor. Porém não são representações exatas das estruturas de Lewis, uma vez que utiliza seta para mostrar a transferência de elétrons de um átomo para o outro, a proposta original não utiliza setas.

Além disso, no livro de Santos e Mól (2010) as representações usadas que se parecem com a estrutura de Lewis aparecem no livro mais de uma vez, porém em cada exemplo os elétrons aparecem de cores diferentes (apresenta uma legenda, com a letra menor, explicando que as cores diferentes é para ajudar na visualização) o que pode ajudar o estudante a formular a compreensão de que os elétrons são diferentes uns dos

outros, construído uma concepção errônea sobre o elétron, tendo em vista que os estudantes do Ensino Médio podem não ler ou não entender as legendas (TOMIO, GRIMES, *et al.*, 2013; HAN e ROTH, 2006)

Sardella (2003) também traz as representações da estrutura para explicar as ligações covalentes em seu livro didático, porém uma das LQ representadas é entre o átomo de hidrogênio e cloro, o símbolo do hidrogênio representa o núcleo do átomo, assim como o modelo de Lewis, porém o elétron do hidrogênio não é representado por um ponto, e sim por uma estrela. Outra pequena diferença da estrutura proposta por Lewis, é que o compartilhamento dos pares de elétrons foi marcado através de um retângulo em seu redor, o que também não é utilizado por Lewis.

Neste sentido, pensado na forma como o conceito de LQ são apresentados no Ensino de Química, destacam-se essas metodologias como uma tentativa de didatização do conceito, que exigem do professor tornar o conceito acessível que possa ser ensinado e aprendido no meio escolar. Neste sentido, podemos ressaltar a importância da didatização considerando a natureza do conhecimento histórico produzido acerca do conceito. “Ensinamos apenas o resultado, não o processo histórico de construção do conceito, portanto, retiramo-lo do conjunto de problemas e questões que o originaram” (LOPES, 1997, p. 563).

Entender a construção do conceito de LQ pode ajudar o estudante a relacionar o conceito com os fenômenos presentes em seu cotidiano. Neste sentido, ressaltamos, segundo Mahaffy (2004, p. 231), que

A educação química pela perspectiva do tetraedro pode servir como uma metáfora adequada para descrever o que valorizamos na educação química, destacando o elemento humano ao dar ênfase a duas dimensões da aprendizagem em química: A rica rede de considerações econômicas, políticas, ambientais, sociais, históricas e filosóficas, tecidas na nossa compreensão dos conceitos químicos, reações e processos que nós ensinamos a nossos estudantes e ao público em geral. O aprendiz humano. A educação química pautada no tetraedro enfatiza estudos de caso, projetos de investigação, estratégias de resolução de problemas, aprendizagem ativa e adequação das estratégias pedagógicas aos estilos de aprendizagem dos estudantes. Ela mapeia estratégias pedagógicas para introduzir o mundo químico nos níveis simbólico, macroscópico e molecular sobre as concepções e concepções alternativas dos estudantes.

Ou seja, relacionar o conceito de LQ ao nível humano e os demais níveis não só pode contribuir para a formação de um sujeito crítico e reflexivo, mas também colaborar na própria prática do professor, ajudando a pensar e organizar suas metodologias, buscando sempre relacionar o conhecimento científico aos problemas da vida cotidiana.

O estudo das LQ propostas por Lewis pode ser ensinado no Ensino Médio considerando os próprios conceitos do autor. Esse processo pode ajudar na didatização, inclusive na transformação do conhecimento científico para a educação científica, como destaca Bachelard (1996), uma vez que, as concepções podem se aproximar do pensamento abstrato. Lewis em sua teoria perpassa pelo nível macroscópico quando parte das propriedades das substâncias, pelo submicroscópico quando explica sua teoria a partir do compartilhamento de pares de elétrons, apresenta modelos de representações atômicas e estruturais que passam pelo nível simbólico, e permite a relação com o nível humano, uma vez que, aborda os conceitos de Ligações Químicas, o qual pode explicar muitos dos fenômenos que estão comumente presentes em nosso dia a dia, ou se considerar a própria história do conceito pode-se discutir questões filosóficas, sociais, étnicas, raciais entre outros assuntos atuais e relevantes para formação humana. Neste sentido cabe ao professor conhecer a natureza do conceito e sua história, e direcionar as discussões que podem contribuir na formação do conhecimento científico do estudante.

Portanto, o conhecimento científico precisa ser repensado, modificado e investigado para ser ensinado dentro da sala de aula de Química. Pensar sobre a natureza do conceito de LQ proposto por Lewis, que ainda é atual e partir de sua origem, as propriedades das substâncias e a estrutura da matéria pode ser uma possibilidade didática. Essa forma de ensinar passa pela ideia do abstrato para o real, de algo que não pode ser visto ou tocado, mas pode ser imaginado, problematizado e articulado principalmente com os princípios químicos. Considerando que “o pensamento científico é então levado para “construções” mais metafóricas que reais, para “espaços de configuração”, dos quais o espaço sensível não passa, no fundo, de um pobre exemplo” (BACHELARD, 1996, p. 7).

8 Considerações Finais desta Pesquisa de Mestrado

Compreender a construção do conceito de LQ proposto por Lewis e ensinado no Ensino Médio atual foi o grande objetivo da escrita desta dissertação de mestrado. Para que fosse possível fazer esta discussão, um caminho de pesquisas e estudos foram desenvolvidos, e apresentados em formas de capítulos. Além de apresentar as conclusões desse estudo, é relevante destacar que a forma como se organizaram as discussões desta dissertação também foi a forma como a autora (eu mesma) conseguiu entender e se apropriar do tema da pesquisa.

Inicialmente os estudos sobre a história da Ciência e a epistemologia da Ciência nos ajudam a entender a natureza dos conceitos trabalhados em sala de aula, ou seja, compreendendo mais sobre aspectos históricos e sociais que envolvem o desenvolvimento das ciências de uma época específica. É importante que tenhamos uma visão mais historicizada das Ciências, visto que pela formação histórica dos conhecimentos podemos buscar metodologias adequadas ao Ensino de Química e também revertendo à visão distorcida sobre a natureza da ciência. No ensino, o estudo a respeito da história e da epistemologia pode ajudar a pensar sobre o conteúdo, seu complexo processo de construção evitando a imagem muitas vezes deformada e estereotipada desse conhecimento. O conceito químico trabalhado em sala de aula não é, e nem deveria ser, trabalhado como uma realidade evidente, fruto da objetividade imediata, da verdade absoluta. Possibilitando demonstrar porque o conhecimento científico se distancia do senso comum.

Neste sentido, apresentamos a interessante perspectiva de Bachelard (1996) neste estudo. O referencial bachelardiano e o conjunto das produções da área do Ensino de Química permitiram algumas reflexões acerca dos conteúdos ensinados em sala de aula, como por exemplo, refletir sobre sua função na ciência, os seus objetivos, suas limitações, e em que contexto histórico foram elaborados, esses pensamentos são de extrema importância na prática docente. As contribuições de Bachelard para o Ensino de Química se mostram com grande potencialidade, suas concepções até hoje são de relevantes e continuam atuais, possibilitando a compreensão da valorização de

concepção de Ciência como fruto da humanidade e, portanto, sujeito a erros, conflitos e constantes correções.

Apoiando-nos nos entendimentos sobre a história e a epistemologia e a visão de Bachelard compreendemos que para a escrita a respeito da construção de um conceito precisávamos assumir um papel mais centrado no de epistemólogo ou de historiador. Sendo assim, a escrita se deu principalmente sobre uma visão epistemológica a respeito do conceito, que inicialmente precisava ser definido, como um termo.

Deste modo, antes de entender exatamente a construção do conceito de LQ definimos o conceito, que de forma clara e objetiva pode ser vista como relacionado com a produção conhecimento científico, o conceito pode ser uma forma abstrata de organização e de sistematização do conhecimento científico, além de se diferenciar do que chamamos de modelos. Essa discussão é de extrema relevância, principalmente quando se trata de argumentações acerca das LQ de Lewis, que trazem ao mesmo tempo a organização de um conhecimento, ou seja, o conceito e também modelos representativos da Ligação Química.

Neste mesmo sentido, buscando o entendimento de conceitos especificamente em nossa área, a Química, apresentamos as categorizações de Taber (2019). É importante destacar que as discussões do autor nos ajudaram a pensar a respeito dos conceitos químicos, de como organizá-los e relacioná-los dentro da disciplina. Porém não tivemos a intenção de apresentar essa classificação como absoluta, mas como uma forma de problematização e estudo que pode colaborar para os estudos do professor ao propor suas metodologias para entender melhor os conceitos.

Sob uma perspectiva epistemológica, relacionada com aspectos históricos, analisamos artigos e materiais científicos que pudessem contribuir no entendimento a respeito do que antecede e contribuiu para aos estudos de LQ proposto por Lewis. Esses estudos marcaram o desenvolvimento da Química, bem como das áreas que a compõem, e pode ser visto um caminho provável e possível para os estudos de Lewis sobre as Ligações Químicas. Os estudos a respeito da atração entre as cargas, a evolução do modelo atômico, conseqüentemente o conhecimento a respeito do elétron, a evolução das definições de valência, etc. são alguns dos estudos que já existiam na época em que Lewis começara a construção de seu conceito. Não discutimos exatamente como foram desenvolvidos esses estudos, mas apresentamos algumas concepções que já haviam sido discutidas e que se relacionam em alguma instância com

ideias de Lewis. Pensar sobre qual era o panorama, o cenário do conhecimento científico ajuda na construção de relações conceituais, e de buscar a visão que Lewis poderia ter sobre os conhecimentos científicos da época. A partir desses estudos, conseguimos (re)afirmar que o conhecimento científico não é fruto de revelações, mas de um complexo processo histórico de construção.

Essa noção do contexto histórico do que pode ter influenciado nas ideias de Lewis nos direcionou para seus próprios estudos das Ligações Químicas. Essas concepções de Lewis foram baseadas principalmente na publicação de três artigos, e foi assim que buscamos descrever sua proposta. Lewis explica três tipos de Ligações Químicas, as ligações polares (iônicas), ligações apolares (covalentes) baseada na nova teoria do par de elétrons compartilhados e metálica. A pesquisa realizada para apresentar a proposta de Lewis possibilitou o entendimento mais claro do conceito que ensinamos dentro da sala de aula, permitindo repensar nossa prática, criar formas e metodologias que podem ajudar os estudantes a compreender significante o que estamos ensinando. Entender a construção do conceito pode possibilitar que o professor pense sobre o conceito de forma crítica, apresentando quem sabe novas possibilidades, não reforçando o ensino memorístico e descontextualizado.

Os estudos de Lewis referentes à ligação iônica (transferência de elétrons), à ligação covalente (compartilhamento dos pares de elétrons) e à ligação metálica (elétrons livres para além da estrutura) estão sendo trabalhados no Ensino de Química, porém a forma como Lewis explica sua teoria originalmente é desconsiderada. Enquanto Lewis explica a atração entre os átomos a partir das propriedades das substâncias e estrutura da matéria, em sala de aula se explica a atração entre os átomos associado à enunciação restrita e memorística da regra do octeto. O modelo atômico proposto por Lewis não é apresentado na sala de aula, sendo comumente utilizado o modelo atômico de Bohr como modelo explicativo sobre o qual se traçam as discussões de Lewis. Disso, observamos que é preocupante a não problematização sobre as incoerências de se fazer isso, haja vista a não possibilidade de relação direta de ambas as discussões (é preciso haver a ressalva de Lewis entre a posição da nuvem e do elétron).

Esses apontamentos são algumas observações feitas ao pensar sobre o ensino de LQ na Química, com o intuito de problematizar o ensino do conceito. E indicar que problematizações a respeito ensino do conceito devem e podem ser feitas pelos professores e que essas problematizações se tornam possíveis quando conhecemos a

natureza do conceito, principalmente quando entendemos a importância da história e da epistemologia no ensino de ciências e da Química. Percebemos que os conteúdos na Ciência são muito menos lineares do que os apresentados pelos livros didáticos.

Portanto, a principal contribuição que destacamos a partir do desenvolvimento desta pesquisa se localiza no campo da história e a epistemologia do Ensino de Química. Pesquisas como esta demonstram a importância e a possibilidade de problematizar os conceitos e entender sua natureza. De apresentar dentro da sala de aula um processo de historicização do conceito de LQ através de um processo lógico (caminho das ideias) de Lewis, e não apenas dos “resultados” ou da “soma” de diferentes ideias sem contexto. Sendo assim, esperamos fortemente que este estudo possa ser significativo e importante para o ensino, para prática dos professores, e principalmente para o aprendizado dos estudantes. Esta pesquisa pode ser vista como um pequeno grão de areia no mundo grande e vasto das pesquisas realizadas pelo mundo afora, mas acreditamos e ratificamos a importância da história e da epistemologia principalmente no mundo contemporâneo, onde por vezes a ciência, o ensino e a Química são desvalorizadas. Entretanto, concepções e discussões como as apresentadas nesta pesquisa podem mudar essa visão.

Visto a importância do estudo e a amplitude de relações com conceitos químicos desenvolvidas pela proposta de Lewis no campo da Química e no Ensino de Química, seria importante a proposição de uma sequência didática que ajudasse o professor de Ensino Médio trabalhar com o conceito de ligações proposto por Lewis, considerando as questões históricas e epistemológicas que envolvem o conceito. Buscando contribuir ainda mais para as discussões importantes em nosso campo de pesquisa: o Ensino de Química. Ainda, apresentamos como uma limitação deste estudo a pouca discussão a respeito das ligações metálicas, mesmo que Lewis não tenha apresentado discussões a respeito desta ligação. Em seus trabalhos ele menciona por vezes a existência desse terceiro tipo de Ligação Química, mas sua ênfase é no par iônico-covalente. Sendo assim, espero futuramente aprofundar os estudos abordados até aqui, tanto no nível conceitual quanto no nível didático para o Ensino de Química.

9 Referências

- ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 2003. 1014 p.
- ABEGG, Richard W. H. Die Valenz und das periodische System. Versuch einer Theorie der Molekularverbindungen. **Zeitschrift für anorganische Chemie**, v. 39, n. 1, p. 330-380, 1904.
- ALCADIPANI, Rafael. Periódicos brasileiros em inglês: a mímica do publish or perish “global”. **Revista de Administração de Empresas**, v. 57, n. 4, p. 405-411, 2017.
- AMARAL, Edenia M. R. D.; SILVA, João R. R. T. D.; SABINO, Jaqueline D. Analysing processes of conceptualization for students in lessons on substance from the emergence of conceptual profile zones. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 19, p. 1010-1028, 2018.
- BACHELARD, Gaston. **A Epistemologia**. Tradução de Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Rio de Janeiro: Edições 70, 1971.
- BACHELARD, Gaston. **O Racionalismo Aplicado**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.
- BACHELARD, Gaston. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978.
- BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise**. Tradução de Estrela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BACHELARD, Gaston. **O novo espírito científico**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2000.
- BACHELARD, Gaston. **Ensaio sobre o conhecimento aproximado**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2004.
- BACHELARD, Gaston. **A epistemologia**. Tradução de Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa: Edição 70, 2006.
- BACHELARD, Gaston. **Estudos**. Tradução de Estrela Abreu. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008. 88 p.
- BACHELARD, Gaston. **O pluralismo coerente da química moderna**. São Paulo: Contraponto, 2009.
- BALDINATO, José O.; PORTO, Paulo A. 20 Anos de QNEsc: Uma História, Muitas Histórias. **Química Nova na Escola**, 37, n. 2, 2015. 166-171.
- BARBOSA, André G. H. A Estranha e Contraditória Relação entre os Químicos e a Química Teórica. **Revista Virtual de Química**, v. 1, n. 3, p. 212-226, 2009.

BARROS, Aidil J. D. S.; LEHFELD, Neide A. D. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. São Paulo: Makron Books, 2000.

BECKER, Fernando. **Epistemologia do professor: o cotidiano da escola**. Petrópolis: Vozes, 1993.

BELÉNDEZ, Augusto. La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell. **revista Brasileira de Ensino de Física**, 30, 2008. 1-20.

BELTRAN, Maria H. R.; KLAUTAU, Fabiana D. CTSA na História: Discutindo Agrotóxicos à Luz da História da Ciência. **Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química**, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2020.

BELTRAN, Maria H. R.; SAITO, Fumikazu. História da ciência, epistemologia e ensino: uma proposta para atualizar esse diálogo. **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS- ENPEC**, p. 7, 2012.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette. Chemistry in the French tradition of philosophy of science: Duhem, Meyerson, Metzger and Bachelard. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 36, p. 627-648, 2005.

BENSEGHIR, Abdelmadjid; CLOSSET, Jean L. The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties. **International Journal of Science Education**, v. 2, p. 179-191, 1996.

BENTO., Andressa S. **Gênero e Diversidade na Ciência: Um Debate Necessário**. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, p. 78. 2021.

BERTOMEU-SÁNCHEZ, José R. Chemistry, microscopy and smell: bloodstains and nineteenth-century legal medicine. **Annals of Science**, v. 72, n. 4, p. 490-516, 2015.

BERZELIUS, Jons J. **Essai sur la théorie des proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'électricité**. País: Méquignon-Marvis, 1819. 334 p.

BEZERRA, Adriano D. S.; SILVA, Roberto R. D. Ligações químicas: As primeiras teorias. **Educación Química**, v. 12, n. 3, p. 179-183, 2001.

BLANCAFORT, Ainoa M. Las actividades de los libros de texto de química para la teoría corpuscular y su contribución a la evolución de los modelos explicativos. **Estudios Pedagógicos**, p. 181-196, 2012.

BOTEZ, Catalina. Contiguous spaces of remembrance in identity writing: chemistry, fiction and the autobiographic question in Primo Levi's The Periodic Table. **European Review of History: Revue européenne d'histoire**, v. 19, n. 5, p. 711-727, 2012.

BROWN, Herbert C. Foundations of the structural theory. **Journal of Chemistry Education**, v. 36, n. 3, p. 104-110, 1959.

CACHAPUZ, António *et al.* **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CAMEL, Tânia D. O.; KOEHLER, Carlos B. G.; FILGUEIRAS, Carlos A. L. A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 543-553, 2009.

CANGUILHEM, Georges. L'histoire des sciences dans l'œuvre épistémologique de Gaston Bachelard. In: CANGUILHEM, Georges **Études d'histoire et de philosophie des sciences: concernant les vivants et la vie**. Paris: Librairie Philosophique J. Vri, 1983. p. 173-186.

CASTELAO-LAWLESS, Teresa. Phenomenotechnique in historical perspective: it's origins and implications for philosophy of science. **Philosophy of Science**, v. 62, n. 1, p. 44-59, 1995.

CASTELÃO-LAWLESS, Teresa. Os Problemas Filosóficos da Ciência Moderna e a nova Educação Científica: Percursos Pela Epistemologia Bachelardiana. **Revista Ideação**, Feira de Santana, 2, n. 25, 2012. 19-36.

CEDRAN, Débora P.; KIOURANIS, Neide M. M.; CEDRAN, Jaime D. C. A importância da simbologia no Ensino de Química e suas correlações com os aspectos macroscópicos e moleculares. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 9, n. 4, p. 39-57, 2018.

CEDRAN, Jaime D. C.; FIHO, Ourides S. Estrutura dos Compostos Orgânicos: Uma Proposta de Perfil Epistemológico. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia, SP, 24 a 27 Novembro 2015. 1-8.

CHAMIZO, José A. The fifth chemical revolution: 1973–1999. **Foundations of Chemistry**, p. 157-179, 2017.

CHAMIZO, José A. About continuity and rupture in the history of chemistry: the fourth chemical revolution (1945–1966). **Foundations of Chemistry**, p. 11-29, 2018.

CHANG, Hasok *et al.* Ask not what philosophy can do for chemistry, but what chemistry can do for philosophy. **Metascience**, p. 373-383, 2010.

CHASSOT, Attico. **A ciência é masculina? É, sim senhora!** 7. ed. [S.l.]: Unisinos, 2013. 136 p.

- CHAUÍ, Marilena. **Convite à Filosofia**. São Paulo: Ática, 2000.
- COELHO, Leandro J.; CAMPOS, Luciana M. L. Diversidade sexual e ensino de ciências: buscando sentidos. **Ciências e Educação**, Bauru, v. 21, n. 4, p. 893-910, 2015.
- COFFEY, Patrick. **That Made Modern Chemistry- The Personalities and Rivalries That Made Modern Chemistry**. Nova York: Oxford University Press, 2008.
- COKELEZ, Aytakin. Junior High School Students' Ideas about the Shape and Size of the Atom. **Research in Science Education**, p. 673-686, 2012.
- COMASSETO, João V.; SANTOS, Alcindo A. D. Química Fina: sua origem e importância. **Revista USP**, São Paulo, fevereiro 2008. 68-77.
- COSTA, Celma L. F. **Ciência e Educação em Bachelard**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação de Doutorado em Educação da Pontifícia. Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2015. p. 201.
- COSTA, Palmira F. D. **Manifesto para uma Nova Química**. 1. ed. Lisboa: Palavrão, 2011.
- COUPER, Archibald S. On a new chemical theory. **Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 16, n. 105, p. 104-116, 1858.
- CROPPER, Willim H. Walther Nernst and the Last Law. **Journal of Chemical Education**, v. 64, n. 1, p. 3-8, 1987.
- DALTON, John. **A new system of chemical philosophy**. pt 1. ed. Londres: [S.n.], v. 1, 1808.
- DAMÁSIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz O. D. Q. História e Filosofia da Ciência na Educação Científica: Para Quê?. **Revista Ensaio**, v. 19, p. 1-19, 2017.
- DAVANZO, Celso U.; CHAGAS, Aécio P. Gilbert Newton Lewis e a revolução dos pares eletrônicos. **Química Nova**, v. 16, n. 2, p. 152-154, 1993.
- DAVID, Mariano G.; CORRÊA, Mônica F. As diversas faces da dúvida – ceticismo. **Em Construção: Arquivos de epistemologia, história e estudos de ciência**, p. 158-172, 2020.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 6. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2004.
- DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. **Manual de investigación cualitativa**. Barcelona: Gedisa Editorial., v. II, 2000. 38-77 p.

DORIGON, Larissa *et al.* Perfil epistemológico para o conceito de transformações apresentado nos livros didáticos de química da 1ª série do Ensino Médio. **Revista brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 584-597, 2019.

DUARTE, Maria D. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: Implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, p. 317-331, 2004.

FERNANDEZ, Carmen; MARCONDES, Maria E. R. Concepções dos estudantes sobre Ligações Químicas. **Química Nova na Escola**, 24, 2006. 20-24.

FERREIRA, Larissa M.; PEDUZZI, Luiz O. D. Q. As Intuições Atomísticas de Bachelard. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 14, n. 3, p. 119-137, 2014.

FERREIRA, Poliana F. M. *et al.* Modelagem e representações no ensino de ligações iônicas: Análise em uma estratégia de ensino. **Anais do VI ENPEC**, p. 1-12, 2007.

FILGUEIRAS, Carlos A. L. Duzentos Anos da teoria atômica de Dalton. **Química Nova na Escola**, n. 20, Novembro 2004. 38-44.

FILGUEIRAS, Carlos A. L. Gilbert lewis e o centenário da teoria de ligação por par de elétrons. **Química Nova**, v. 39, n. 10, p. 1262-1268, 2016.

FORATO, Thaís C. D. M.; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto D. A. Histograma e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 28, 2011. 27-59.

FOUCAULT, Michel. Michel Foucault: Gaston Bachelard. In: BRINGUIER, Jean C. **Entrevista**. [S.l.]: Office national de radiodiffusion télévision française, 1972. Disponível em: <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/video/i06268520/michel-foucault-gaston-bachelard>. Acesso em: 28 out. 2022.

FOUCAULT, Michel. Sur l'archéologie des sciences. Réponse au Cercle d'Épistémologie. In: FOUCAULT, Michel **Dits et écrits I (1954-1959)**. Paris: Gallimard, 1994. p. 696-740.

FOUREZ, Gérard. Crise no ensino de ciências? Investigação em Ensino de Ciências. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FRANKLAND, Edward. XIX On a new series of organic bodies containing metals. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, n. 142, p. 417-444, 1852.

FRANKLAND, Edward. Contributions to the Notation of Organic and Inorganic Compounds. **Journal of the Chemical Society**, p. 372-395, 1864.

FREIRE, Melquisedeque; TALANQUER, Vicente; AMARAL, Edenia. Conceptual profile of chemistry: a framework for enriching thinking and action in chemistry education. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENCE EDUCATION**, v. 41, n. 5, p. 674-692, 2019.

FREIRE, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciência. In: FILHO, Waldomiro J. D. S. **Epistemologia e ensino de ciências**. Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

FREITAS, Luiz C. G. Prêmio Nobel de Química em 1998: Walter Kohn e Jhon A. Pople. **Química Nova**, 22, n. 5, 1999. 293-298.

GAGLIARDI, R; GIORDAN, A. La Historia de las Ciencias: una herramienta. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 2, p. 253- 258, 1988.

GARCEZ, Edna S. D. C.; SOARES, Márlon H. F. B. Um Estudo do Estado da Arte Sobre a Utilização do Lúdico em Ensino de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 17, n. 1, 2017. 183-214.

GEOFFROY, Etienne F. Tables des différents rapports observés en Chimie entre différentes substances.. **Histoire de l'Académie Royale des Sciences**, p. 202-212, 1718.

GONZALEZ, Wilmer O. L.; LARA, Linda K. L. El perfil conceptual de Evaluación en docentes de Educación Media General. **Educere**, v. 24, n. 79, p. 645-665, 2020.

GRAHALL, Heloísa C.; FERNANDEZ, Carmen; NOGUEIRA, Keysy S. C. Um estado da arte sobre reações redox no contexto do Ensino de Química no Brasil. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, 3, n. 3, 2021. 971-995.

GUERRA, Andreia; REIS, José C.; BRAGA, Marco. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 21, n. 2, Agosto 2004. 224-248.

GUERRA, Marcelo H. F. S. *et al.* Ensaio sobre os Obstáculos Epistemológicos presentes em estratégias metodológicas no Ensino de Química, uma revisão da bibliografia, 8, n. 7, 2019. 1-15. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662198054/560662198054.pdf>. Acesso em: 26 out. 2022.

HAN, Jaeyoung; ROTH, Wolff- M. Chemical Inscriptions in Korean Textbooks: Semiotics of Macroand Microworld. **Science Education**, 90, n. 2, 2006. 173-201.

HARDING, Sandra. Gênero, democracia e filosofia da ciência. **Revista Eletrônica de comunicação, Informação e Inovação em saúde**, v. 1, n. 1, p. 163-168, 2007.

HARRES, João B. S. Uma revisão de pesquisa nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 197-211, 1999.

HARRIS, Harold H. A Biography of Distinguished Scientist Gilbert Newton Lewis (Lewis, Edward S.). **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 11, 1999.

HILDEBRAND, Joel H. Gilbert Newton Lewis, 1875-1946., p. 491-506, 1947.

HURTADO, Juan C. T. **Investigación cualitativa: comprender y actuar**. Madrid: Editorial La Muralla, S.L., 2006.

JENSEN, William B. Abegg, Lewis, Langmuir, and the Octet Rule. **Journal of Chemical Education**, v. 61, n. 3, p. 191-200, 1984.

JOHNSTONE, Alex H. Chemical Education Research: Where from Here? **University Chemistry Education**, v. 4, n. 1, p. 34- 38, 2000.

JÚNIOR, Antônio I. D.; SILVA, João R. R. T. D.; AMARAL, Edenia M. R. D. Zonas do Perfil Conceitual de Calor que Emergem na Fala de Professores de Química. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 1, p. 55-67, 2015.

JUNIOR, Olival F. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. In: FILHO, V J. S. **Epistemologia e ensino de ciências**. Salvador : Arcádia , 2002. p. 13-30.

JUSTI, Rosária D. S. A Afinidade Entre as Substâncias pode explicar as reações químicas? **Química Nova na Escola**, n. 7, p. 26-29, 1998.

KAUFFMAN, George B. History in the chemistry curriculum: pros and cons. **ANNALS OF SCIENCE**, v. 36, n. 4, p. 395-402, 1979.

KEKULÉ, Friedrich A. Ueber die Constitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen, und iiber die chemische Natur des Kohlenstoffs. **Annalen der Chemie und Pharmacie**, p. 105-228, 1858.

KLEIN, Ursula. Objects of inquiry in classical chemistry: material substances. **Foundations of Chemistry**, p. 7-23, 2012.

KOHLER, Robert E. G. N. Lewis's Views on Bond Theory 1900-16. **The British Journal for the History of Science**, v. 8, n. 3, p. 233-239, 1975.

KRAPAS, Sonia *et al.* MODELOS: UMA ANÁLISE DE SENTIDOS NA LITERATURA DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. **Investigações em Ensino de Ciências**, p. 185-205, 1997.

KRIPKA, Rosana M. L.; SCHELLER, Morgana; BONOTTO, Danusa D. L. Pesquisa documental na pesquisa qualitativa: conceitos e caracterização. **Revista de investigaciones UNAD**, Bogotá, 14, 2015. 55-73.

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.

KUZNETSOV, V. I. **Theory of valency in progress**. Moscou: Mir Publishers, 1980. 264 p.

LARDER, David F. A Dialectical Consideration of Butlerov's Theory of Chemical Structure. **Ambix**, v. 18, n. 1, p. 26-48, 1971.

LASZLO, Pierre. Towards Teaching Chemistry as a Language. **Science & Education**, p. 1669-1706, 2013.

LEWIS, Gilbert N. Valence and tautomerism. **Journal of the American Chemical Society**, p. 1448-1455, 1913.

LEWIS, Gilbert N. The atom and the molecule. **Journal of the American Chemical Society**, v. 38, n. 4, p. 762-785, 1916.

LEWIS, Gilbert N. Introductory address: Valence and the electron. **Transactions of the Faraday Society**, p. 452-458, 1923.

LEWIS, Gilbert N. **Valence and the structure of atoms and molecules**. New York: Chemical Catalog Company, Incorporated., 1923. 172 p.

LÔBO, Soraia F. O Ensino de Química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 89-100, 2007.

LÔBO, Soraia F. O trabalho experimental no Ensino de Química. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 430-434, 2012.

LÔBO, Soraia F.; MORADILLO, Edilson F. D. Epistemologia e a Formação Docente em Química. **QUÍMICA NOVA NA ESCOLA**, n. 17, p. 39-41, 2003.

LOGUERCIO, Rochele D. Q.; DELPINO, José C. Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos. **História da Educação**, p. 67-96, 2007.

LOGUERCIO, Rochele D. Q.; PINO, José C. D. Contribuições da História e da Filosofia da Ciência para a construção do conhecimento científico em contextos de formação profissional da química. **ACTA SCIENTIAE**, v. 8, n. 1, p. 67-77, 2006.

LOPES, Alice R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. **Historia y Epistemología de las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993.

LOPES, Alice R. C. Bachelard: O filósofo da desilusão. **caderno catarinense de ensino de física**, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

LOPES, Alice R. C. Conhecimento escolar em química - Processo de mediação didática da ciência. **Química Nova**, v. 20, n. 5, p. 563-568, 1997.

LOPES, Alice R. C. Conhecimento escolar em Química- Processo de mediação deidática da ciência. **Química Nova**, 20, 1997. 563-568.

LOPES, Alice R. C. A disciplina Química: currículo, epistemologia e história. **Episteme**, v. 3, n. 5, p. 119-142, 1998.

LUDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. **Pesquisas em educação**: abordagens qualitativas. 31. ed. São Paulo: Editora EPU, v. 5, 1986. 99 p.

LUFFIEGO, Máximo *et al.* Epistemologia, caos y enseñanza de las ciencias. **Ensenanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 1, p. 89-96, 1994.

MAAR, Juergen H. **História da Química- Segunda parte**: De Lavoisier ao sistema periodico. Florianópolis: Papa-Livros, 2011. 1182 p.

MAHAFFY, Peter. The future shape of chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, 5, 2004. 229-245.

MAIA, Raquel G.-. Gilbert Newton Lewis- Átomo e a Molécula. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, v. 40, n. 141, p. 23-26, Julho 2016.

MARTINS, Andre F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, 24, n. 1, Abril 2007. 112-131.

MARTINS, Lilian A.-C. P. História da ciência e o ensino da biologia. **Ciência e Ensino**, Campinas, n. 5, p. 18-21, 1998.

MARTINS, Roberto D. A. Émile Meyerson and mass conservation in chemical reactions: a priori expectations versus experimental tests. **Foundations of Chemistry**, v. 21, p. 109-124, 2019.

MATTHEWS, Michael R. Historia, Filosofia e Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. **Revista Enseñanza de Las Ciencias**, v. 12, n. 2, p. 255-271, 1994.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 12, n. 3, 1995. 164-214.

MELO, Maria A. F.; BRÄSCHER, Marisa. Termo, conceito e relações conceituais: um estudo das propostas de Dahlberg e Hjørland. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 67-80, 2014.

MELO, Viviane F. D.; AMANTES, Amanda. Mapeando elementos do perfil epistemológico de densidade. **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 17, n. 38, p. 153-172, 2021.

MIRANDA, Fabíola A.; ARAÚJO, Sandra C. M. Identificação de obstáculos epistemológicos presentes em alguns livros didáticos de química do Ensino Médio. **XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)**, Salvador, 17 a 20 Julho 2012. 1-12.

MOCELLIN, Ronei C. A Química Newtoniana. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 388-396, 2006.

MOCELLIN, Ronei C. Conceitos nômades: filosofia química na Ilustração. **dois pontos**, Curitiba, 15, abril 2018. 183-197.

MÓL, Gerson D. S. Pesquisa Qualitativa em Ensino de Química. **Revista pesquisa qualitativa**, São Paulo, 5, n. 10, 01 Dezembro 2017. 495-513.

MOREIRA, Marco A.; MASSONI, Neusa T. Interfaces entre visões epistemológicas e ensino de ciências. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 1-32, 2016.

MORTIMER, Eduardo F. **Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo**. São Paulo. 1994.

MORTIMER, Eduardo F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, v. 4, p. 265-287, 1995.

MORTIMER, Eduardo F. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e Ensino de Química. **Química Nova**, v. 20, n. 2, p. 200-207, 1997.

MORTIMER, Eduardo F.; MACHADO, Andréa H. **Química, 1: Ensino Médio**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2010.

MORTIMER, Eduardo F.; MÓL, Gerson; DUARTE, Luicienir P. Regra do Octeto e Teoria da Ligação Química no Ensino Médio: Dogma ou Ciência? **Química Nova**, 17, n. 3, 1994. 243-252.

MOTA, Thiago. O conceito de genealogia em Nietzsche. **Université de Toulouse II**, v. 1, n. 2, p. 308-328, 2008.

MOURA, Breno A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência.**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

MUR-DUEÑAS, Pilar. Published and unpublished research article introductions in english: a look into the writing for publication process. In: BAZERMAN, Charles, *et al.* **International advances in writing research: cultures, places, measures.** [S.l.]: Perspectives on Writing, 2012. p. 403-420.

NETO, Agostinho S. D. A.; RAUPP, Daniele; MOREIRA, Marco A. A evolução histórica da linguagem representacional química: uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais. **VII Encontro Nacional de Pesquisa em educação em Ciências**, Florianópolis, 7 e 8 Novembro 2009. 1-12.

NETO, Waldmir N. D. A. A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural. **Química Nova na escola**, n. 7, p. 13-24, 2007.

NOGUEIRA, Helena S. A.; PORTO, Paulo A. Entre tipos e radicais: a construção do conceito de valência. **Química Nova**, v. 42, n. 1, p. 117-127, 2019.

OKI, Maria D. C. M. O congresso de Karlsruhe e a busca de consenso sobre a realidade atômica no século XIX. **Química Nova na Escola**, p. 24-28, 2007.

OKI, Maria D. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009.

OKI, Maria D. C. M.; MORADILLO, Edilson F. D. O ensino de história da química :contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

OLABUÉNAGA, José I. R. **Metodología de la investigación cualitativa.** Bilbao: Universidad de Deusto., 2009.

OLARTE, Mauricio N. Los estudios sociales de la ciencia y la tecnología y la guerra de las ciencias. **Revista Educación y Pedagogía**, v. XVI, n. 40, p. 131-139, 2004.

OLIVEIRA, Lais P. D. *et al.* Política de indexação em periódicos da Ciência da Informação: um estudo das diretrizes para atribuição de palavras-chave aos artigos. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 25, n. 4, p. 140-169, Dezembro 2020.

PABUCCU, A.; ERDURAN, S. Investigating students' engagement in epistemic and narrative practices of chemistry in the context of a story on gas behavior. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, p. 523-531, 2016.

PASTORIZA, Bruno D. S. Educação química em discurso, ou sobre um modo de olhar para a prática da educação química , 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/134871>.

PASTORIZA, Bruno D. S. Ensaio sobre intencionalidade pedagógica e tradição: um tensionamento como princípio educativo. **Acta Scientiarum.Education**, 44, 2021. 1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascieduc.v44i1.52706>. Acesso em: 17 out. 2022.

PASTORIZA, Bruno; LOGUERCIO, Rochele; MAZZOTTI, Tarso. A delimitação do conceito de representações escolares aplicada à Educação em Ciências. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 1, p. 153-163, 2014.

PAULING, Linus. Modern Structural Chemistry. **Science**, v. 123, n. 3190, p. 255-258, 1956.

PAZINATO, Maurícius S. *et al.* Epistemological Profile of Chemical Bonding: Evaluation of Knowledge Construction in High School. **Journal of Chemical Education**, 98, 2021. 307-318.

PAZINATO, Maurícius S. **Ligações Químicas: Investigação da construção do conhecimento no Ensino Médio**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. 370.

PEDUZZI, Luiz O. D. Q. Sobre a utilização didática de história da ciência. In: PIETROCOLA, Mauricio **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PENA, Grazielle B. D. O.; MESQUITA, Nyuara A. D. S. Caracterização de obstáculos epistemológicos na concepção de licenciandos em química que dificultam o desenvolvimento do conhecimento profissional docente. **Química Nova**, v. 41, n. 8, p. 943-952, 2018.

PEREIRA, Letícia D. S.; SANTANA, Carolina Q.; BRANDÃO, Luís F. S. D. P. O apagamento da contribuição feminina e negra na ciência: reflexões sobre a trajetória de Alice Ball. **Cadernos de gênero e Tecnologia**, v. 12, n. 40, p. 92-110, 2019.

PEREIRA, Letícia D. S.; SILVA, José L. D. P. B. Preenchendo a lacuna entre os modelos atômicos de Dalton e Thomson nos livros didáticos de Química. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, 24 a 27 Novembro 2015. 1-8.

PEREZ, Daniel G.; ALIS, Jaime C. Science learning as a conceptual and methodological change. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, p. 231-236, 1985.

PÉREZ-GÓMES, Angeli. **A Cultura Escolar na sociedade neoliberal**. Tradução de Ernani Rosa. Porto Alegre: Artmed Editora, 2001. 320 p.

PERUZZO, Francisco M.; CANTO, Eduardo L. D. **Química na abordagem do cotidiano**. 4. ed. São Paulo: Moderna, v. 1, 2006.

PINHEIRO, Barbara C. S. *et al.* O uso de aspectos históricos das reações químicas como base para a proposição de estratégias didáticas. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia, SP, p. 1-7, 24-27 Novembro 2015.

PINHEIRO, Lisiane A.; COSTA, Sayonara S. C. D.; MOREIRA, Marco A. **Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje**. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS, v. 22, 2011. 107 p.

POMBO, Fernanda M. Z.; LAMBACH, Marcelo. Compreensões da visão da ciência e do cientista entre os estudantes do ensino de ciências e química da EJA. **XII Congresso Nacional de Educação**, 26-29 Novembro 2015. 40761-40771.

PRAIA, João; CACHAPUZ, António; GIL-PÉREZ, Daniel. A hipótese e a experiência científica em Educação em Ciência: Contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 2, p. 253-262, 2002.

PRAIA, João; PÉREZ, Daniel G.-; VILCHES., Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 12, p. 141-156, 2007.

RAMOS, Maurivan G. Epistemologia e ensino de ciências: compreensões e perspectivas. In: MORAES, Roque **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. Porto Alegre: edipucrs, 2000. p. 13-35.

RAMOS, Maurivan G. Epistemologia e Ensino de Ciências: compreensões e perspectivas. In: MORAES, Roque **Construtivismo e Ensino de Ciências: Reflexões epistemológicas e metodológicas**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000. p. 13-35.

REIS, Jheniffer M. C. D.; KIOURANIS, Neide M. M.; MARCELO. Um Olhar para o Conceito de Átomo: Contribuições da Epistemologia de Bachelard. **Alexandria: Revista de Educação em Ciências e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 3-26, 2017.

REIS, Jheniffer M. C. D.; KIOURANIS, Neide M. M.; SILVEIRA, Marcelo P. D. Conceito de átomo: obstáculos epistemológicos e o processo de ensino e aprendizagem. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Águas de Lindóia, 24 a 27 Novembro 2015. 1-8.

REZENDE, Flávio S.; FERREIRA, Luciana N. D. A.; QUEIROZ, Salete L. Concepções a respeito da construção do conhecimento científico: uma análise a partir de textos produzidos por estudantes de um curso superior de química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 596-617, 2010.

RIBEIRO, Marcos A. P.; PEREIRA, Duarte C. Constitutive Pluralism of Chemistry: Thought Planning, Curriculum, Epistemological and Didactic Orientations. **Science & Education**, p. 1809-1837, 2013.

RICHARDS, Theodore W.; LEWIS, Gilbert N. Some Electrochemical and Thermochemical Relations of Zinc and Cadmium Amalgams. **American Academy of Arts and Sciences**, v. 34, n. 4, p. 87-99, 1898.

RODRIGUES, Tavane D. S.; SILVA, Fernanda K. D. D.; PASTORIZA, Bruno D. S. Reconhecendo modos de abordagem do conceito de Ligações Químicas no Ensino de Química. **Anais do 20º Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ Pernambuco)**, Recife, 07 Julho 2021. 1-11.

ROSSATO, Maristela; MARTINEZ, Albertina M. Contribuições da metodologia construtivo-interpretativa na pesquisa sobre o desenvolvimento da subjetividade. **Revista Lusófona de Educação**, 2018. 65-74.

SAITO, Funikazu. "Continuidade" e "Descontinuidade": o processo da construção do conhecimento científico na história da ciência. **Revista da FAEEBA – Educação e Contemporaneidade**, p. 183- 194, 2013.

SALDANHA, Bianca D. S. Ciência: lugar da crença e da imaginação? **Revista Espaço Acadêmico**, p. 86-95, 2018.

SANGIOGO, Fábio A.; PIEPER, Quédina. Percepções sobre Implicações da História e Filosofia da Ciência em Aulas de um Curso de Licenciatura em Química. **Experiências em ensino de ciências (UFRGS)**, v. 15, p. 520-539, 2020.

SANTOS, Anderson D. O.; MELO, Marlene R. Dificuldades dos licenciandos em química da UFS em entender e estabelecer modelos científicos para equilíbrio químico. **XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)**, Salvador, 17-20 Julho 2012. 1-12.

SANTOS, Diego M.; NAGASHIMA, Lucila A. La epistemología de Gaston Bachelard y sus contribuciones a la enseñanza de la química. **Revista Paradigma**, v. XXXVI, n. 2, p. 37-48, 2015.

SANTOS, Leandro M. *et al.* Química de Coordenação: Um Sonho Audacioso de Alfred Werner. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1260-1281, 2014.

SANTOS, Wildson L. P. D.; MÓL, Gerson D. S. **Química Cidadã**: materiais, substâncias, constituintes, química ambiental e suas implicações sociais. 1. ed. São Paulo: Nova Geração, v. 1, 2010.

SANTOS, Wildson L. P. D.; PORTO, Paulo A. A pesquisa em Ensino de Química como área estratégica para o desenvolvimento da química. **Química Nova**, v. 36, n. 10, p. 1570-1576, 2013.

SARDELLA, Antônio. **Química**. 5. ed. São Paulo: Ática, v. Volume único, 2003.

SCHNETZLER, Roseli P. A Pesquisa em Ensino de Química no Brasil: Conquistas e Perspectivas. **Química Nova**, v. 25, p. 14-24, 2002.

SERRA, Fernando A. R.; FIATES, Gabriela G.; FERREIRA, Manuel P. Publicar é difícil ou faltam competências? O desafio de pesquisar e publicar em revistas científicas na visão de editores e revisores internacionais. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 9, n. 4, p. 32-55, 2008.

SHAIK, Sason. The Lewis Legacy: The Chemical Bond—A Territory and Heartland of Chemistry. **Journal of Computational Chemistry**, p. 51-61, 2006.

SILVA, Dileize V. D. Reflexões sobre obstáculos epistemológicos e níveis de representação na aprendizagem. **Revista Ensino & Pesquisa**, v. 14, p. 132-141, 2016.

SILVA, Luiz C. M. D.; SANTOS, Wilma M. S.; DIAS, Penha M. C. A carga específica do elétron. Um enfoque histórico e experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.

SILVA, Luiz H. D.; PINHEIRO, Bárbara C. S. Produções científicas do antigo Egito: um diálogo sobre Química, cerveja, negritude e outras coisas mais. **Revista Debates Em Ensino De Química**, v. 4, n. 1, p. 5-28, 2018.

SILVA, Rafael S.; AMARA, Carmem L. C. As contribuições da defectologia e da teoria histórico-cultural no Ensino de Química para deficiente visual: um estado da arte em Teses e Dissertações (200-2019). **Revista Comunistas**, 5, n. 9, 2021. 346-363.

SIMON, Jonathan. The production of purity as the production of knowledge. **Foundations of Chemistry**, v. 14, p. 83-96, 2012.

SISSON, Nathalia; WINOGRAD, Monah. Bachelard e Freud: fenomenotécnica e psicanálise. **Arquivos Brasileiros de Psicologia**, v. 64, n. 3, p. 146- 162, 2012.

SOARES, Emerson D. L. *et al.* A presença do lúdico no ensino dos modelos atômicos e sua Contribuição no processo de ensino aprendizagem. **Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 12, n. 2, p. 60-80, 2017.

SOUSA, Célia *et al.* Representação da mulher em livros didáticos de química. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 1, n. 4, p. 241-253, 2019.

SOUZA, Vinícius C. D. A.; JUSTI, Rosária. Diálogos possíveis entre o ensino fundamentado em modelagem e a História da Ciência. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 385-405, 2012.

STADLER, João P. *et al.* Análise de obstáculos epistemológicos em livros didáticos de química do Ensino Médio do pnd 2012. **Holos**, v. 2, p. 234-243, 2012.

STRANGES, Anthony N. Reflections on the Electron Theory of the Chemical Bond: 1900-1925. **Journal of Chemical Education**, 61, n. 3, 1984. 185-190.

TABER, Keith. The Atom in the Chemistry Curriculum: Fundamental Concept, Teaching Model or Epistemological Obstacle? **Foundations of Chemistry**, v. 5, n. 1, p. 43–84, 2003.

TABER, Keith S. **The Nature of the Chemical Concept: Re-constructing Chemical Knowledge in Teaching and Learning**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2019. 378 p.

TABER, Keith S. Concepts in chemistry. In: TABER, Keith S. **Foundations for teaching chemistry: Chemical Knowledge for Teaching**. 1. ed. Londres: Routledge, 2020. p. 68-80.

TALANQUER, Vicente. Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". **International Journal of Science Education**, 33, 2010. 179-195.

THACKRAY, Arnold W. O Surgimento da Teoria Química Atômica de Dalton: 1801-08. **The British Journal for the History of Science**, v. 3, n. 1, p. 1-23, 1966.

THOMSON, Joseph J. Cathode Rays. **Philosophical Magazine**, Londres , v. 44, n. 5, p. 293-316, 1897.

THOMSON, Joseph J. On the structure of atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; atomic, with application of the results to the theory of atomic structure. **Philosophical Magazine**, v. 7, n. 6, p. 237-265, 1904.

THOMSON, Joseph J. **The corpuscular theory of matter**. Londres : Archibald Constable, 1907. 110 p.

TOMA, Henrique E. Alfred Werner e Heinrich Rheinboldt: genealogia e legado científico. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 574-581, 2014.

TOMIO, Daniela *et al.* As imagens no ensino de ciências: o que dizem os estudantes sobre elas. **Caderno Pedagógico**, Lajeado, 10, 2013. 25-40.

TORRES, Adriana P. G.; BADILLO, Romulo G. Historia, epistemología y didáctica de las ciencias: unas relaciones necesarias. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 1, p. 85-98, 2007.

TRENTINI, Mercedes; PAIM, Lygia. **Pesquisa Em Enfermagem: Uma Modalidade Convergente-assistencial**. Florianópolis : UFSC, 1999.

TRIMARCHI, Michele; MANZELLI, Paolo; EATON, John. Observations and Remarks on The Concept of Chemical Communication and the Integration of Sciences. **Ecologista**, p. 259-270, 1987.

VASCONCELOS, Simão D.; SOUTO, Emanuel. O Livro didático de Ciências no ensino fundamental: proposta de critérios para análise do conteúdo zoológico. **Ciência e Educação**, 4, n. 1, 2013. 93-104.

VASCONCELOS, Wellyton S.; JULIÃO, Murilo S. D. S. Abordagem alternativa para o conteúdo de Ligações Químicas no Ensino Médio. **Essentia**, Sobral, 13, n. 2, 2011. 139-163.

VEIGA-NETO, Alfredo; NOGUEIRA, Carlos E. Conhecimento e saber apontamentos para os estudos de currículo. In: DALBEN, Ângela I. L. D. F., *et al.* **Convergências e tensões no campo da formação e do trabalho docent**. Belo Horizonte: Autêntica, 2010. p. 67-87.

VIDAL, Paulo H. O.; PORTO, Paulo A. Representações químicas e a História da Ciência em sala de aula. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 10, p. 70-84, 2014.

VILLATE, Jaime E. **Eletricidade, Magnetismo e Circuitos**. 2^o. ed. Porto, Portugal: Edição do autor , 2015. 314 p.

WANDERSEE, James H. Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 23, n. 7, p. 581-597, 1995.

WENZEL, Judite S.; MALDANER, Otavio A. A Prática da Escrita e Reescrita em Aulas de Química como Potencializadora do Aprender Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 314-320, Novembro 2014.

WERNER, Alfred; KAUFFMAN, George B. Contributions to the Theory of Affinity and Valence. **Chymia**, v. 12, p. 189-216, 1967.

ZOTT, Regine. Friedrich Wilhelm Ostwald (1853–1932), Now 150 Years Young... **Angewandte Chemie International Edition**, v. 42, n. 34, p. 3990-3995, 2003.