

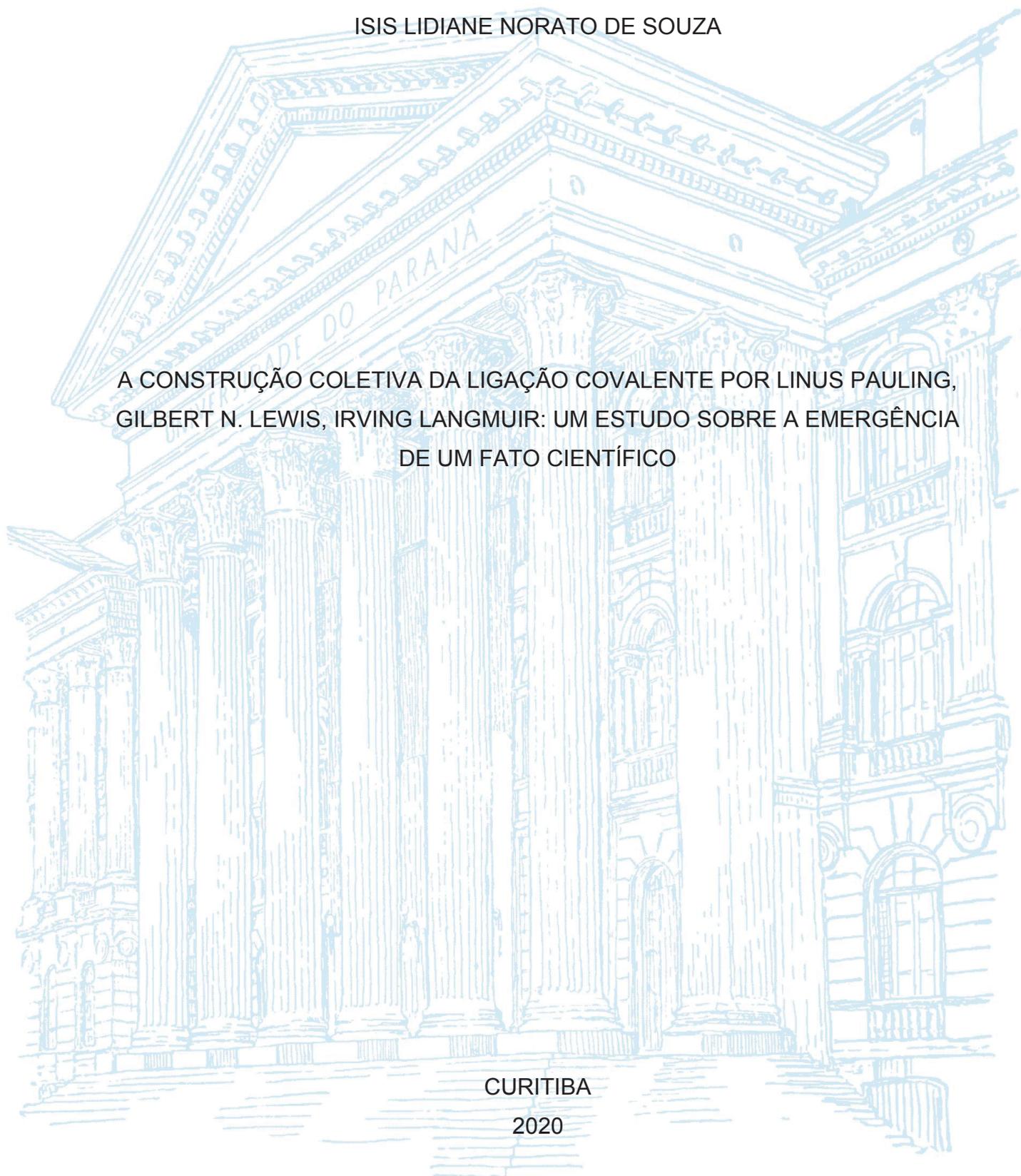
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISIS LIDIANE NORATO DE SOUZA

A CONSTRUÇÃO COLETIVA DA LIGAÇÃO COVALENTE POR LINUS PAULING,  
GILBERT N. LEWIS, IRVING LANGMUIR: UM ESTUDO SOBRE A EMERGÊNCIA  
DE UM FATO CIENTÍFICO

CURITIBA

2020



ISIS LIDIANE NORATO DE SOUZA

A CONSTRUÇÃO COLETIVA DA LIGAÇÃO COVALENTE POR LINUS PAULING,  
GILBERT LEWIS, IRVING LANGMUIR: UM ESTUDO SOBRE A EMERGÊNCIA DE  
UM FATO CIENTÍFICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e em Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Joanez Aparecida Aires

CURITIBA

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE – SIBI/UFPR

---

S729c Souza, Isis Lidiane Norato de

A construção coletiva da ligação covalente por linus pauling, gilbert lewis, irving langmuir: um estudo sobre a emergência de um fato científico [recurso eletrônico]/ Isis Lidiane Norato de Souza, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e em Matemática

Orientadora: Profa. Dra. Joanez Aparecida Aires

1. Química. I. Aires, Joanez Aparecida. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD 540

---

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563

## TERMO DE APROVAÇÃO

ISIS LIDIANE NORATO DE SOUZA

### A CONSTRUÇÃO COLETIVA DA LIGAÇÃO COVALENTE: UM ESTUDO SOBRE A EMERGÊNCIA DE UM FATO CIENTÍFICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e em Matemática.

---

Prof. Dra. Joanez Aparecida Aires

Orientadora –

Departamento de Química, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

---

Prof. Dr. Ronei Clecio Mocellin

Departamento de Filosofia, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

---

Prof. Dra. Veronica Ferreira Bahr Calazans

Departamento Acadêmico de Estudos Sociais,

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Curitiba, 28 de fevereiro de 2020.



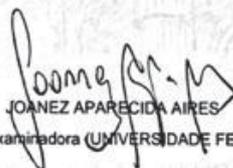
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EDUCAÇÃO EM  
CIÊNCIAS E EM MATEMÁTICA - 40001016068P7

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E EM MATEMÁTICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ISIS LIDIANE NORATO DE SOUZA** intitulada: **A construção coletiva da ligação covalente por Linus Pauling, Gilbert Lewis, Irving Langmuir: um estudo sobre a emergência de um fato científico, sob orientação da Profa. Dra. JOANEZ APARECIDA AIRES**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2020.



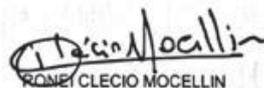
JOANEZ APARECIDA AIRES

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



VERÔNICA BAHR CALAZANS

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)



RONEI CLECIO MOCELLIN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico essa dissertação aos meus pais, Ivone e Paulo Renato, vocês são o meu bem mais precioso nessa Terra.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, meu pai celestial, que me sustenta em amor, me protege e providencia todas as coisas que necessito. Agradeço a Jesus Cristo pelo seu doce amor. O amor que gera em mim a esperança de um futuro. E ao Espírito Santo, agradeço por ser meu maravilhoso conselheiro.

Agradeço a minha família, aos meus preciosos pais Ivone Norato de Souza e Paulo Renato de Souza pelo amor. Aos meus irmãos, Paulinho e Luana, Daniel e Juliani, por me amarem. Aos meus sobrinhos Lucas e Raquel por tornarem meus dias mais coloridos e ensolarados.

Agradeço aos meus avós Leontina Norato e Nabil Norato pelo carinho, cuidado, alegria que me proporcionam e pelo compartilhamento de experiência de vida. Agradeço a toda família Norato pelo carinho e amor.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná pela formação acadêmica em bacharelado e licenciatura em Química.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela formação tecnológica em Química Ambiental.

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBID) pela formação inicial de qualidade em Educação em Ciências, por ter me ajudado a construir o sonho de ser professora e, também, pela oportunidade proporcionada para realização do mestrado na área de Educação em Ciências.

Agradeço aos meus professores do Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e em Matemática pelo compartilhamento de ensino durante as aulas e pela formação acadêmica.

Agradeço a minha orientadora Joanez Aparecida Aires por participar da minha formação acadêmica desde o PIBID. Obrigada por me apresentar a epistemologia de Fleck, por me ajudar na caminhada da pesquisa e escrita dessa dissertação. Agradeço pelas palavras de encorajamento e por ser esse exemplo de professora que eu sempre sonhei em ter.

Agradeço ao professor Eduardo Salles de Oliveira Barra pela orientação do ensaio crítico sobre a pesquisa e a ciência, a qual utilizei na introdução desta dissertação.

Agradeço ao professor Ronei Mocellin pelas contribuições para a minha pesquisa no exame de qualificação e na etapa de defesa. Também agradeço pelo

tempo de dedicação à leitura dessa dissertação. Agradeço às aulas de Filosofia da Ciência e pelo acolhimento durante a Escola Paranaense em História, Filosofia da Ciência e da Tecnologia.

Agradeço à professora Veronica Ferreira Bahr Calazans por aceitar participar dessa etapa de defesa, pelo tempo de leitura desta dissertação e pelas contribuições a minha pesquisa.

Agradeço ao professor Mauro Condé por participar da avaliação da minha pesquisa no exame de qualificação. Agradeço às aulas de Filosofia da Ciência e aos ensinamentos sobre a epistemologia de Fleck. Obrigada pelo acolhimento durante a Escola de História da Ciência da UFMG.

Agradeço aos professores Sérgio Camargo, Neila Tonin Agronionih, Patrícia Barbosa Pereira, Tania T. Bruns Zimer e Thaís Rafaela Hilger pelos momentos compartilhados nos Workshops de 2018 e/ou 2019.

Agradeço às minhas amigas e colegas do PPGECCM Clarianna e Giselle, pelo carinho e amizade.

Agradeço aos meus colegas do grupo de pesquisa em História, Filosofia e Sociologia da Ciência pelos momentos de estudos, compartilhamento de artigos e trabalhos. Obrigada Alesandra, Aline, Carla, Elda, Estefano, Flávio, Jackeline e Paulo pela companhia nas aulas, nos cursos de extensão e nos eventos.

Agradeço aos meus professores de Química que tive ao longo da vida que de alguma forma me instigaram a respeito das ligações químicas.

“I have always wanted to know as much as possible about the world.” [Eu sempre quis saber o máximo possível sobre o mundo]  
Linus Pauling (1901-1994).

## RESUMO

A leitura da História da Ciência tendo por base a epistemologia de Fleck, pode contribuir para a compreensão de como um fato científico foi construído, uma vez que permite observar como cada cientista contribuiu para a construção daquele fato, a partir de um mesmo Coletivo e Estilo de Pensamento, sendo o fato científico estudado nesta pesquisa a Ligação Covalente. O objetivo deste estudo consistiu em analisar quais foram os pressupostos, fatores e contextos científico e histórico, os quais definem um Estilo e um Coletivo de Pensamento, que levaram Linus Pauling a construir sua compreensão sobre a 'Natureza da Ligação Química'. Utilizou-se para tanto a pesquisa documental, sendo os dados constituídos a partir de fontes primárias, tais como correspondências, áudios, vídeos, artigos científicos históricos, manuscrito etc., disponíveis no sítio eletrônico da Universidade Estadual de Oregon. Também foi utilizada a pesquisa bibliográfica para levantamento de Fontes Secundárias pela ferramenta "current bibliography", para pesquisas em História da Ciência. Para a análise das Fontes Primárias e Secundárias, utilizou-se epistemologia de Ludwik Fleck (1891-1961). Foram percebidos os conceitos Fato Científico, Protoideia, Coletivo de Pensamento, Estilo de Pensamento e Circulação Intercoletiva de Ideias no processo de construção da história da ligação covalente. Consideramos que Linus Pauling circulou por dois Coletivos e Estilos de Pensamento quanto aos saberes científicos, sendo um relacionado à estrutura da ligação química e outro em relação à teoria quântica, muito influente na Ciência do século XX. Linus Pauling recebeu influências dos químicos Gilbert Lewis, Arthur Amos Noyes e Irving Langmuir para formalizar um novo Estilo de Pensamento, ou seja, para a compreensão do par de elétron compartilhado, representando a emergência do conceito de ligação covalente. Ademais, a noção de valência foi uma ideia pré-científica para a ligação química e posterior, ligação covalente. Linus Pauling utilizou a teoria quântica para explicar a ligação química, e deste estudo obteve a compreensão sobre hibridização e ressonância, conceitos que foram aceitos no Coletivo de Pensamento dos químicos até a década de 1950, quando surgiu a rival teoria do Orbital Molecular.

Palavras-chave: Ludwik Fleck 1. Ligação Química 2. Linus Pauling 3. Ligação Covalente 4. Gilbert Lewis 5.

## ABSTRACT

The reading of History of Science, with on the basis of Fleck's Epistemology presents good potential for understanding how the historiography on historical facts was constructed. Above all, this reading allows us to observe as each scientist contributes to be construction of that fact, from a same Collective and Style of Thought. The scientific fact studied in this research was interpreted as covalent bond. This research had purpose to analyzed the presupposed, factors and scientific and historical context that made Linus Pauling construct his contribution to understanding of the Nature of Chemical Bond. We used the documentary research and the instruments used were the primary sources, such as correspondence, áudios, vídeos, papers, manuscript etc., available on the Oregon State University website. A bibliography search was also used to survey Secondary Sources using the "current bibliography" tool, for research in History of Science. The Ludwik Fleck's epistemology was used for the analysis of Primary and Secondary Sources. The concepts Scientific Fact, Protoideas, Collective of Thought, Style of Thought and Intercollective Circulation of Ideas were observed in the process of construction the history of the covalent bond. We consider that Linus Pauling circulated through two Collectives and Styles of Thoughts, one related to the structure of the Chemical Bond and another in relation to quantum theory, very influential in Science of the twentieth century. Thus, it can expand the valence rules, which contributed to the construction of the Bond Theory. Linus Pauling was influenced by chemists Gilbert Lewis, Arthur Amos Noyes and Irving Langmuir and thus, formalize a new Style of Thought, that is to understanding the shared-electron pair, representing the emergence of the concept of covalent bond. Furthermore, the notion of valence was a pre-scientific idea for chemical bond and later, for covalent bond. Linus Pauling used quantum theory to explains the chemical bond, and this research he understood about hybridization and resonance, concepts that were accepted in the chemistry Collective of Thought until the 1950s, when the rival Molecular Orbital Theory appeared.

Keywords: Ludwik Fleck 1. Chemical Bond 2. Linus Pauling 3. Covalent Bond 4. Gilbert Lewis 5.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DA ‘LIGAÇÃO DE VALÊNCIA’ COMO ENGATES ENTRE OS GANCHOS DOS ELEMENTOS .....	13
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DAS VALÊNCIAS NA MOLÉCULA DE METANO (CH <sub>4</sub> ) .....	52
FIGURA 3 – A QUARTA VALÊNCIA DO CARBONO: DUPLAS ALTERNADAS A ESQUERDA (POR KEKULÉ) E AFINIDADE LIVRE A DIREITA (POR MEYER) .....	53
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO ÁTOMO DE LEWIS (A ESQUERDA) E KOSSEL (A DIREITA).....	71
FIGURA 5 – FOTOS DE GILBERT N. LEWIS A ESQUERDA (1930) E DE IRVING LANGMUIR (1920).....	77
FIGURA 6 - CONCEPÇÃO DE LEWIS PARA DUAS LIGAÇÕES DE HIDROGÊNIO .....	85
FIGURA 7 – OS ÁTOMOS DE LEWIS .....	93
FIGURA 8 – ETAPAS DO COMPARTILHAMENTO DE UMA ARESTA .....	93
FIGURA 9 – LIGAÇÃO SIMPLES (A ESQUERDA) E LIGAÇÃO DUPLA (A DIREITA) .....	94
FIGURA 10 – EXTENSÕES DAS ESTRUTURAS DE LEWIS POR LANGMUIR.....	96

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – AS FONTES PRIMÁRIAS ANALISADAS .....	28
QUADRO 2 – CONCEITOS DA EPISTEMOLOGIA DE LUDWIK FLECK.....	29
QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES DE CADA TEORIA ATÔMICA.....	67
QUADRO 4 – CORRESPONDÊNCIA DE LINUS PAULING PARA GILBERT N. LEWIS (C6).....	77
QUADRO 5 – CORRESPONDÊNCIA DE GILBERT N. LEWIS PARA LINUS PAULING (C7) .....	81
QUADRO 6 – CORRESPONDÊNCIA DE PAULING PARA LEWIS (C8).....	85
QUADRO 7 – CORRESPONDÊNCIA DE LEWIS PARA PAULING (C9).....	86
QUADRO 8 – CORRESPONDÊNCIA DE LEWIS PARA PAULING (C10).....	87
QUADRO 9 – LIGAÇÃO DO ELÉTRON COMPARTILHADO, POR LEWIS (1923) ..	94
QUADRO 10 – AS SEIS REGRAS DA NATUREZA DA LIGAÇÃO QUÍMICA .....	98

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 MINHA TRAJETÓRIA E MEU PENSAR SOBRE CIÊNCIA.....	16
1.2 PANORAMA DA PESQUISA.....	20
<b>2 CAMINHOS DA PESQUISA .....</b>	<b>26</b>
<b>3 COMO SURTIU E EM QUE CONSISTE A LIGAÇÃO COVALENTE? .....</b>	<b>30</b>
3.1 O CONTEXTO COLETIVO DE LINUS PAULING .....	32
3.2 A NOÇÃO DE VALÊNCIA COMO PROTOIDEIA DA LIGAÇÃO COVALENTE...43	
3.2.1 A evolução do conceito de valência.....	47
3.2.2 A história evolutiva da valência em Manuais .....	56
3.2.3 A evolução dos modelos atômicos .....	60
3.3 OS CONTEMPORÂNEOS DE LINUS PAULING: GILBERT N. LEWIS E IRNVING LANGMUIR .....	68
3.2.4 Análise da correspondência de Linus Pauling para Gilbert N. Lewis.....	77
3.2.5 Análise da Resposta de Gilberto N. Lewis para Linus Pauling .....	81
3.2.6 O trabalho cooperativo entre Lewis e Pauling .....	85
3.4 FORMAÇÃO DO ESTILO DE PENSAMENTO SOBRE A LIGAÇÃO DO PAR DE ELÉTRON COMPARTILHADO .....	90
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>99</b>
4.1 POTENCIALIDADES, DIFICULDADES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE 1 – QUANDO COMPREENDI O ESTILO DE PENSAMENTO .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 1 – DOCUMENTO ORIGINAL DE FONTE PRIMÁRIA .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 2 – DOCUMENTO ORIGINAL DE FONTE PRIMÁRIA .....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresento um panorama da minha pesquisa em Educação em Ciências, na linha de pesquisa em História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC). No primeiro momento, trago um ensaio sobre como vejo minha trajetória na ciência, com uma ideia mais conceitual sobre a compreensão de ciência que venho construindo por meio da minha formação acadêmica. Há relatos de alguns percursos acadêmicos que me levaram até a HFSC, como a realização de iniciação à docência no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) durante a graduação em Química. Finalizo com descrição da estrutura deste estudo sobre a 'Natureza da Ligação Química'<sup>1</sup> à luz da epistemologia de Ludwik Fleck.

### 1.1 MINHA TRAJETÓRIA E MEU PENSAR SOBRE CIÊNCIA

Este ensaio tem como objetivo apresentar minha perspectiva sobre a minha carreira científica, desde o ingresso na vida acadêmica até a produção da pesquisa de mestrado, momento que me encontro atualmente. Conheci a Filosofia da Ciência e alguns epistemólogos durante a graduação em Licenciatura em Química. No entanto, foi durante a pós-graduação em Educação em Ciências que fui enriquecendo as leituras sobre as obras de epistemólogos como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Karl Popper, Ludwik Fleck, entre outros, em especial nas disciplinas de História e Filosofia da Ciência, Epistemologia da Ciência e de Filosofias da Ciência e da Tecnologia. A proposta da minha pesquisa é analisar um episódio histórico da química do século XX, tendo como base a epistemologia de Ludwik Fleck. Dito isso, nos próximos parágrafos são apresentados mais detalhes sobre os caminhos percorridos dentro da minha carreira como pesquisadora, além de alguns argumentos em relação ao pensar sobre a ciência.

Iniciei minha carreira acadêmica no curso Tecnologia em Química Industrial na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Pato Branco. No entanto, meu sonho era cursar Biologia na Universidade Federal do Paraná. Contudo, ao cursar Tecnologia em Química Industrial, fui apreciando a Química.

---

<sup>1</sup> Termo utilizado por Linus Pauling como título de seu estudo sobre a estrutura da ligação química, comumente presente nas fontes primárias (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado).

Cursei dois semestres, porém precisei pedir transferência de *campus* dentro da UTFPR por motivos familiares. O pedido foi deferido e vim morar na capital do meu estado. No entanto, o curso em Curitiba era o de Tecnologia em Química Ambiental, um pouco diferente na área de atuação tecnológica.

Conheci algumas áreas da Biologia dentro do curso de Tecnologia em Química Ambiental, uma vez que cursei as disciplinas de biologia geral, microbiologia básica e avançada, ecologia, biodiversidade I e II, biotecnologia ambiental, educação ambiental, gestão ambiental, mas não havia esquecido a Ciência Química. Foi quando decidi cursar Química, me inscrevi na Universidade Federal do Paraná, fui selecionada e nunca mais pensei na Biologia.

Quando ingressei no curso 12E, bacharelado e Licenciatura em Química da Universidade Federal do Paraná, pensava em trabalhar na indústria química ou em algum laboratório de pesquisa em química, mas, definitivamente, não conhecia muito bem a licenciatura. A dicotomia entre bacharelado e licenciatura era enorme no curso integral de química e havia um pensamento hegemônico de superioridade do bacharelado. Todavia, nunca pensei em abrir mão do meu curso de licenciatura. Meu primeiro contato com a pesquisa em Ensino de Química foi por meio de disciplinas optativas: Introdução à Filosofia da Ciência e Tópicos Especiais em Pesquisa em Ensino de Ciências.

No entanto, comecei a refletir sobre ciência por meio da iniciação à docência (ID). A participação no PIBID começou a mudar minha carreira científica, bem como meu modo de enxergar a ciência. Dentro deste Programa participei da linha de pesquisa em História e Filosofia da Ciência (HFC), tendo a oportunidade de participar de dois ciclos, de dois anos cada, nessa temática.

Desse modo, conheci a epistemologia de Thomas Kuhn e de outros epistemólogos e, por meio destas, comecei a compreender os processos de construção da ciência. Também aprendi sobre a existência de paradigmas e sobre os períodos de revoluções científicas na história da química, como a revolução lavoisieriana<sup>2</sup> (KUHN, 2011). Naquele momento, compreender o estudo sobre a

---

<sup>2</sup> O livro de Fleck tornou-se conhecido de historiadores, filósofos e sociólogos da ciência após ser citado no prefácio de “A estrutura das revoluções científicas” de Thomas Kuhn nos anos de 1960. Após este período, a história da ciência experimentou o tratamento de visões mais elaboradas sobre a ciência e sobre o trabalho científico por meio de publicações com abordagens de perspectivas historiográficas. A obra kuhniana teve alcance na esfera da Educação em Ciência por primeiro, por isso estudar sua epistemologia antes de Fleck foi um processo natural. De acordo com

ciência me deixou admirada por esta. Entendo como estudo sobre a ciência aquele que se preocupa pelo processo de construção do conhecimento científico, aspectos estes, da filosofia da ciência e da epistemologia propriamente dita. Inclusive, percebi que a concepção de ciência disseminada nos cursos de graduação que vivenciei era a empírica-indutivista. Por este motivo, havia todo rigor metodológico nas aulas práticas, uma vez que seguíamos o método científico. Todavia, embora tenhamos aprendido a produzir ciências a partir de um método universal, o qual garantiria a produção científica, não eram somente nas aulas de laboratório que seguia o positivismo lógico, mas o modelo de ciência exata da química dura seguia um rigor matemático, exato e fechado nas aulas teóricas também, possíveis resquícios da concepção científica do mundo<sup>3</sup>.

Praticar o exercício de entender sobre a ciência que estudava me fez criar laços de afinidade com a linha de pesquisa em HFSC. Outra parte muito especial foi estudar como ensinar Química dentro desse olhar da epistemologia e da nova historiografia da ciência<sup>4</sup>.

Além da visão sobre a epistemologia da ciência, o legado mais marcante do PIBID na minha vida profissional foi o incentivo e a construção do sonho de ser professora. Considero importante comentar sobre esse sonho construído porque ele não fazia parte dos meus pensamentos quando cursei as graduações em Tecnologia e quando ingressei na Química integral. Naquela época tinha o olhar muito ingênuo sobre a ciência e apenas uma ideia vaga sobre a formação em licenciatura, além de muitas dúvidas sobre como seria minha carreira científica.

Hoje, refletindo sobre o papel de ser professora de ciências naturais, considero ser muito importante para mim ter uma postura filosófica em relação à ciência. Eu prefiro me colocar como uma professora de química que ensina o processo de construção do conhecimento científico; de ensino de química pelo viés

---

Delizoicov et al (2002), revolução científica na visão kuhniana poderia ser equivalente à mutação no Estilo de Pensamento na epistemologia de Fleck.

<sup>3</sup> A sociedade Ernst Mach, fundada em novembro de 1928, tendo como presidente eleito Moritz Schlick, possuía como intenção o domínio da concepção científica do mundo ao purificar a ciência empírica de ideias metafísicas, especialmente na linha física e demais ciências exatas. O objetivo comum a todos do Círculo de Viena não era apenas uma atitude livre da metafísica, mas sim antimetafísica, buscavam fundamentação pela análise lógica e o sentido da realidade pela experiência (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986).

<sup>4</sup> A epistemologia de Fleck apresenta a ciência como um produto social que se desenvolve no tempo, constituindo-se como um fenômeno histórico. Desse modo, a historicidade da ciência depende do condicionamento histórico e social (CONDÉ, 2017).

da nova historicidade da ciência, uma vez que a maneira como o professor enxerga a ciência refletirá no seu modo de ensinar essa ciência (FEYERABEND, 2011).

Nesse sentido, os argumentos de Feyerabend (2011) me parecem sustentáveis para assumir uma postura contra o método empírico-indutivista. Assim, é importante compreender qual a imagem de ciências que ensino para os meus alunos e por qual motivo tenho esses valores. Desse modo, compreendi a partir da epistemologia de Paul Feyerabend que os professores de ciências naturais precisam ser também filósofos da ciência e se perguntar, por exemplo: de onde vem meu pensamento sobre a ciência? O que é esse método? Por que o utilizo no ensino de ciências?

Dessa maneira, concordo com a essência de Feyerabend (2011) de que é necessário haver pensamento crítico sobre a universalidade de como a ciência é produzida, ou seja, é preciso refletir e compreender o porquê produzo a ciência do modo como produzo, sendo que a ciência é mais uma possibilidade e não a única. Vale ressaltar a reflexão como professora de ciências: como ensino a ciência, com influência do positivismo lógico ou por meio de uma perspectiva construtivista ou investigativa?

Após formada em bacharelado e licenciatura em química, lecionei por dois anos em escolas públicas na cidade de Curitiba. Por meio de inquietações a respeito de como ensinar as ligações químicas para turmas de primeiro ano do Ensino Médio, pensei em possibilidades de propostas didáticas para melhorar minhas aulas sobre o conteúdo de ligações química por meio da História e Filosofia da Ciência. Assim, nasceu o meu projeto de pesquisa: reproduzir a ideia de proposta didática nos moldes de como havia vivenciado no PIBID, ou seja, montar aulas de química analisando o processo de construção de parte da história da ligação química.

No entanto, depois que realizei a disciplina de História e Filosofia da Ciência, como disciplina isolada do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática (PPGECM) da Universidade Federal do Paraná, conheci mais a fundo a epistemologia de Ludwik Fleck. A partir das leituras dessa epistemologia, comecei a reformular a proposta inicial de pesquisa. Nessa reformulação, surgiu a ideia de analisar a história da 'Natureza da Ligação Química' de Linus Pauling por meio da epistemologia de Fleck.

O químico Linus Pauling (1901-1994), viveu quase todo o século XX e foi um grande cientista que ajudou a reestruturar a Química, com base no estudo da

química estrutural, no período de emergência de nova teoria científica, a saber a mecânica quântica, de grande influência para toda a ciência do século passado até os dias atuais. Por isso, o seu estudo se torna interessante no sentido de compreender como se desenvolveu o processo de construção do conhecimento científico em torno da ligação química (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

A epistemologia de Ludwik Fleck vem contribuir para o meu estudo sobre a emergência de um *Fato Científico*, a saber, a ligação covalente, pois seguirei o modelo epistemológico fleckiano para analisar essa história do conhecimento científico. Tal análise será possível por meio dos conceitos da epistemologia de Ludwik Fleck presentes na obra 'Gênese e Desenvolvimento de Um Fato Científico' (FLECK, 2010). Esses conceitos foram estudados com maior profundidade durante a disciplina de Filosofias da Ciência e da Tecnologia, sendo estes: Fato Científico, Protoideia ou Pré-Ideia, Coletivo de Pensamento, Estilo de Pensamento, Mutação no Estilo de Pensamento, Harmonia das Ilusões, Círculos Esotérico e Exotérico, Tráfego Intracoletivo de Ideias, Tráfego Intercoletivo de Ideias, Acoplamentos Passivo e Ativo.

Fleck foi pioneiro na historicidade da ciência, trazendo ênfase para a construção coletiva do trabalho científico. Assim, apresenta a ideia de que um cientista depende da comunidade científica para aceitar e refutar seus pensamentos. Para além, o 'Estilo de Pensamento' influencia os cientistas nas interpretações dos resultados de pesquisa, pois este estilo é a percepção direcionada, além de ser uma força coercitiva na forma de olhar para o objeto de conhecimento (FLECK, 2010).

Acredito que a partir desta pesquisa, à luz da epistemologia de Fleck, eu possa contribuir para a ciência, visto que pesquisarei a história de uma parte importante da química. Considero que eu possa ser uma professora mais consciente sobre os aspectos e impactos da ciência nas esferas da sociedade e que eu possa, de mesma forma, contribuir para a ciência e em especial, na maneira de como se ensinar a química, com abordagens dos aspectos históricos, filosóficos e sociológicos da ciência.

## 1.2 PANORAMA DA PESQUISA

Nesta pesquisa é apresentado um estudo sobre a história da construção do conhecimento relacionado a 'Natureza da Ligação Química', proposta pelo cientista

Linus Pauling. O objetivo é analisar quais foram os pressupostos, fatores e contextos científico e histórico que levaram Linus Pauling a construir o entendimento sobre a estrutura molecular das substâncias. Para tanto, foram investigadas as fontes utilizadas pelo cientista em seus estudos, quais foram os pesquisadores contemporâneos que também se debruçaram sobre o assunto e, por fim, quais foram os legados deixados por suas contribuições que viriam a influenciar os fundamentos da ligação química, elaborados posteriormente, bem como demais implicações para a ciência.

Optou-se pela pesquisa documental para fontes primárias, tais como, correspondências, artigos científicos, videoaulas, áudios<sup>5</sup>. E, a pesquisa bibliográfica, para levantamento das fontes secundárias, como pesquisas historiográficas sobre Linus Pauling, Gilbert N. Lewis, Irving Langmuir e artigos relacionados.

Para a compreensão de como foi construído o conhecimento sobre a ligação covalente foi utilizada a epistemologia de Fleck<sup>6</sup>, pois uma de suas principais características diz respeito ao caráter sociológico do seu pensamento, como por exemplo, a teoria do conhecimento. Nesta, o pensamento é condicionado uma vez que o cientista não pensa sozinho, mas sim como o coletivo pensa. Dessa maneira, na perspectiva fleckiana existe um terceiro fator que permeia o sujeito (pesquisador) e o objeto de pesquisa (a ser conhecido), a saber: o estado do conhecimento. O ‘estilo de pensar’ traduz o significado deste estado, o qual norteia a percepção do cientista e está intrínseco no coletivo de pensamento. Ademais, Fleck considera que o fato é uma construção que depende do percurso histórico e da cosmovisão de determinado grupo em seu contexto científico e histórico. Assim, de acordo com Souto (2019), o fato científico para Fleck está relacionado ao ‘Estilo de Pensamento’. Por estes motivos, a epistemologia fleckiana possui um posicionamento crítico em

---

<sup>5</sup> Fontes primárias disponíveis em “Linus Pauling e a Natureza das Ligações Químicas- uma história documental” [tradução minha], arquivos da Universidade Estadual do Oregon. <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/index.html>. Acesso em: 10 fev. de 2020.

<sup>6</sup> A escolha por Ludwik Fleck se deve pelos crescentes estudos de sua epistemologia na área de Ensino de Ciências (DELIZOICOV et al., 2002). Fleck aproximou a epistemologia às outras áreas, como a história da ciência e a sociologia do conhecimento, enriquecendo-a (CONDÉ, 2019). Foi divulgado por Thomas Kuhn, um dos filósofos da ciência mais influentes do século XX, quase trinta anos após lançamento de sua obra (CONDÉ, 2017). Por meio de reflexões da epistemologia fleckiana é possível compreender como um conceito científico foi pensado dentro de um grupo de especialistas em determinado momento da história. Estudos dos processos de construção dos conhecimentos científicos são necessários para compreensão da ciência e sua natureza.

relação ao empirismo lógico que enxergava o fato como algo fixo, permanente e independente da opinião subjetiva do cientista (PFUETZENREITER, 2002). Tal posicionamento crítico pode permitir, além da compreensão do processo de construção do conhecimento químico em análise, compreensões mais elaboradas também sobre a ciência e sua natureza. Dessa forma, o estudo sobre a Natureza da Ligação Química possibilita, por meio da historiografia e da análise epistemológica, uma compreensão mais ampla sobre a construção da ciência, que conforme Moura (2014), Gil-Pérez et al. (2001), Lederman et al. (2002), correspondem à Natureza da Ciência.

O médico e microbiologista Ludwik Fleck (1896-1961), foi pioneiro na abordagem da historicidade da ciência ao analisar como surgiu o conhecimento científico sobre um determinado fato científico: a doença sífilis. Por meio do estudo da emergência deste fato na história da medicina, Fleck realizou uma série de análises dos aspectos históricos, sociais e epistemológicos que podem ser ampliados para o estudo de outros fatos na ciência, uma vez que sua interpretação se dá sobre a construção do conhecimento científico. Nesse sentido, este médico estabeleceu um modelo epistemológico do funcionamento da ciência, em que não se podem separar os aspectos internos de seus aspectos sociais e de sua historicidade (CONDÉ, 2012; 2017).

A epistemologia fleckiana permite a compreensão da ciência como uma construção coletiva, já que “todo trabalho científico é um trabalho coletivo” (FLECK, 2010, p. 86). Ou seja, Fleck trata na obra ‘Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico’ do caráter coletivo da pesquisa, no qual o desenvolvimento de um Fato Científico depende do percurso histórico e cultural, além do contexto social envolvido (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010).

Segundo Schäfer e Schnelle (2010), a ciência para Fleck é uma atividade organizada pelas comunidades de pesquisadores e nesse sentido, são formados os ‘Coletivos de Pensamento’, identificados como o conjunto de normas, regras e práticas destinados a explicar um fenômeno.

Dentro dos coletivos de pensamento estão inseridos os ‘Estilos de Pensamento’, os quais são definidos como a percepção direcionada no olhar do pesquisador, ou ainda o modo de ver e interpretar o objeto de pesquisa. Dessa maneira, o(a) cientista não pensa sozinho(a), pois é influenciado(a) pelo Coletivo e

Estilo de Pensamento da comunidade científica a qual ele(a) pertence (FLECK, 2010).

O pertencimento a um coletivo de pensamento, em geral se dá pela coerção a um dado estilo de pensamento, quando o indivíduo é induzido a pensar como o coletivo pensa, pois do contrário estaria atuando fora daquele coletivo. Outra característica do novo estilo de pensamento, é que algum traço do estilo de pensamento antigo permanece, formando-se assim uma história evolutiva, a partir de mudanças gradativas e lentas, como numa ‘mutação’ de perspectiva evolucionária e não de maneira abrupta ou revolucionária. A revolução em Kuhn (2011) indica uma mudança de paradigma, com ruptura no modo de pensar e agir dos profissionais especializados. Já em Fleck (2010), mudanças e transformações ocorrem de modo mais gradativo, lento, de acordo com o cotidiano em processo de passo a passo. Por isso o percurso histórico na obra de Fleck (2010) se faz tão necessário no processo de construção do conhecimento (CONDÉ, 2005).

Em sua epistemologia, Fleck (2010) realiza uma análise sobre a história da sífilis, narrando como foi desenvolvido o conceito científico desta doença. Nesta, o epistemólogo fez a análise da construção do conhecimento por meio de um ‘Fato Científico’, o qual foi compreendido com duas faces. A primeira, passiva e objetiva, chamada de conexão passiva ou acoplamento passivo. A segunda representa o caráter ativo do conhecimento, com princípios subjetivos, definido como conexão ativa, ou acoplamento ativo. Desse modo, Fleck (2010) entendeu a sífilis como caráter passivo do conhecimento, enquanto a reação de Wassermann<sup>7</sup> foi considerada como a construção ativa do conhecimento.

Para Fleck (2010), um ‘Fato Científico’ pode ser compreendido como uma relação de conceitos no ‘Estilo de Pensamento’ dentro de uma comunidade científica, sendo um fato, portanto, uma construção social do pensamento coletivo. Assim, torna-se possível interpretar como emergiu um fato dentro de uma comunidade científica, analisando-se seus aspectos epistemológicos, sociais e históricos.

---

<sup>7</sup> Reação que comprovava a presença de antígenos específicos e anticorpos em sangue humano. Foi o ponto de partida experimental para os testes de Wassermann e colaboradores voltados para o diagnóstico da Sífilis. A proposta da reação de Wassermann era a comprovação da existência do sangue sífilítico. Tais estudos deram origem a uma nova ciência, a saber: a sorologia (FLECK, 2010).

Faz-se necessário salientar, que a epistemologia de Fleck não tem origem apenas do campo da medicina, mas também em outras áreas, como a Filosofia e a Sociologia, uma vez que, além da influência da Escola de História e Filosofia da medicina polonesa, Fleck conhecia os pressupostos do Círculo de Viena, no período em que a ciência empírica indutivista estava fortalecida, sendo a corrente internalista da ciência, o foco efervescente deste cenário. Dessa maneira, a principal crítica presente em sua obra foi se contrapor ao positivismo lógico<sup>8</sup> (FLECK, 2010), (CONDÉ, 2017), (PARREIRA, 2006).

No que se refere aos aspectos históricos filosóficos, que também embasam esta investigação, argumentamos que pesquisas com perspectivas historiográficas em História das Ciências, especialmente quando aplicadas à Educação em Ciências, podem auxiliar na compreensão de uma imagem mais elaboradas sobre a ciência e menos estereotipada do trabalho científico, além de possibilitar a análise das influências do contexto histórico na emergência de um fato científico (FLECK, 2010).

A abordagem historiográfica da ciência pode contribuir para evitar o anacronismo<sup>9</sup>, ou seja, deixa-se de julgar o passado com os olhos do presente, como se a ciência se desenvolvesse de maneira contínua e cumulativa, capaz de se tornar cada vez mais completa com o passar dos anos. Tal abordagem também pode evitar a busca por ‘precursores’ ou ‘pais’ da ciência, pois se entende que esta é produzida a partir da atividade coletiva e não apenas de atividades individuais do sujeito (ALFONSO-GOLDFARB, 1994), (ALFONSO-GOLDFARB; BELTRAN, 2004).

---

<sup>8</sup> Fleck submeteu a sua obra “Gênese e desenvolvimento de um fato científico” a Moritz Schlick (1882-1936), presidente do Círculo de Viena, para apreciação. No entanto, a obra fleckiana não foi aceita para publicação porque segundo critério do Positivismo Lógico havia o embate da justificação pela descoberta. Fleck (2010) justifica que não há descoberta individual, mas sim um ‘estilo de pensar’ que permeia entre o sujeito e o objeto de pesquisa (MOCELLIN, 2015). Já na concepção do positivismo lógico, ocorre na relação binária entre o sujeito e objeto a ser conhecido ou “descoberto”, apenas pelo conhecimento empírico, baseado no imediatamente dado e aplicação de um método determinado, o da análise lógica (HAHN; NEURATH; CARNAP, 1986).

<sup>9</sup> Por que evitar o anacronismo? Porque o anacronismo é uma espécie de leitura tendenciosa do passado que não leva em consideração os contextos históricos, científicos, sociais. Dessa forma, são selecionadas apenas as ideias que se assemelham com as atuais, como se a ciência se desenvolvesse continuamente, em acúmulo e que com o passar dos anos será mais completa e melhor. O anacronismo é uma leitura errônea do passado que pode reforçar os estereótipos em relação à ciência. Para Gil-Pérez et al (2001) esse erro é dito como visão acumulativa de crescimento linear. Já Auler e Delizoicov (2001) o chamam de visão de perspectiva salvacionista da Ciência e Tecnologia.

A utilização da História da Ciência possui relevância para o cenário educacional, uma vez que pode contribuir para a humanização da disciplina de Química, priorizando o ensino e aprendizagem não somente de ciências, mas também sobre as ciências (MATTHEWS, 1995). E mais, a ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político, o que evidencia assim, a não neutralidade do cientista. Assim, crenças pessoais, cultura e fatores econômicos são considerados fatores externos que podem influenciar a cosmovisão de quem produz ciência. (ALFONSO-GOLDFARB; BELTRAN, 2004).

A partir dos conceitos elaborados por Ludwik Fleck, a respeito da história da construção do conhecimento sobre um determinado fato no campo da medicina, Fleck nos apresenta um modelo epistemológico que possibilita historiografar outros episódios da história da ciência. Desse modo, optou-se por seguir a matriz biológica apresentada por Fleck para o desenvolvimento de uma análise epistemológica da história do conhecimento sobre a construção coletiva da Ligação covalente, episódio pertencente à história da química do século XX. Assim, nesta investigação foi realizada uma análise sobre a construção coletiva da ligação covalente, conexão ativa do Fato Científico em estudo, utilizando especialmente os conceitos fleckianos: *Fato Científico*, *Protoideia*, *Coletivo de Pensamento* e *Estilo de Pensamento*, *Circulação Intercoletiva de Ideias*, *Círculo Esotérico*, descritas em 'Gênese e Desenvolvimento de Um Fato Científico' de Ludwik Fleck (2010).

Dessa maneira, por meio do referencial fleckiano, realizamos uma análise da história da ligação covalente tendo por base os seguintes questionamentos: quais foram as fontes utilizadas por Linus Pauling? Quem o inspirou e/ou orientou? O que se constituiu como problema de pesquisa para o cientista? Quais eram os seus contemporâneos? Quais foram os debates envolvidos naquele período? Quais os legados deixados por seu estudo?<sup>10</sup>

Na sequência, o *Capítulo Dois* mostra os caminhos da pesquisa, sendo esta de natureza qualitativa com objetivos exploratórios e explicativos, tendo como base a pesquisa documental. Os objetos de análise consistiram nas fontes primárias

---

<sup>10</sup> Estes questionamentos específicos foram pensados com o propósito de visualizar o estado do conhecimento sobre a Ligação Química, ou seja, como era compreendido este conceito científico no meio de especialistas na área. Tendo como base os conceitos da epistemologia fleckiana, buscávamos o Fato Científico, as Protoideias, o Coletivo e Estilo de Pensamento naquele contexto científico e histórico.

disponibilizadas pelo sítio eletrônico da Universidade Estadual de Oregon, local onde Linus Pauling obteve a graduação em Engenharia Química, bem como nas fontes secundárias que contemplaram informações a respeito da construção coletiva sobre a ligação covalente.

Tendo em vista a importância de relacionar as contribuições da epistemologia fleckiana para a compreensão do trabalho científico, da própria Natureza da Ciência, bem como da História da Ciência como processo de construção social, fruto de um trabalho coletivo, o *Capítulo Três* possui o intuito de apresentar características da epistemologia de Fleck, à medida que se propõe a compreender a história sobre a 'Natureza da Ligação Química', articulada por meio da ideia de covalência, principal estudo de Linus Pauling, Gilbert N. Lewis, Irving Langmuir. A intenção é ressaltar a dimensão social da produção deste conhecimento científico a partir do trabalho coletivo e cooperativo entre estes cientistas. Nesse sentido, foram resgatados pesquisadores contemporâneos de Linus Pauling que, assim como ele, estudaram assuntos semelhantes e o influenciaram em sua pesquisa. Em um primeiro momento, foram estudados os contextos científico e histórico de Linus Pauling, bem como da 'Natureza da Ligação Química'. Após, foram conhecidos os Coletivos de Pensamento presentes na comunidade científica contemporânea de Linus Pauling, além dos principais debates envolvidos naquele período, tais como o confronto da Teoria da Ligação com o novo modelo atômico (modelo quântico). Buscou-se identificar o Fato Científico- Ligação Covalente (ideia de covalência) - ou seja, olhar como surgiu o Fato Científico e em que consistiu. Aspectos estes, semelhantes ao utilizado por Fleck em seu estudo sobre a escolha da Reação de Wasserman ser relacionada com a Sífilis.

O *Capítulo Quatro* traz as considerações finais, principais contribuições da pesquisa para o Ensino de Ciências, além de recomendações para trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas quais foram as limitações e dificuldades encontradas no percurso da presente pesquisa.

## **2 CAMINHOS DA PESQUISA**

Esta pesquisa possui abordagem qualitativa, com objetivos exploratórios e explicativos, pois além de registrar e analisar os fenômenos estudados, buscamos

identificar suas causas por meio da interpretação pelos métodos qualitativos (SEVERINO, 2007). Trata-se de uma pesquisa em História da Ciência, sendo a linha de pesquisa em História, Filosofia e Sociologia da Ciência. O tipo de pesquisa é documental, com utilização de fontes primárias. As análises das fontes primárias, tais como videoaulas, áudios, manuscritos, correspondências e artigos científicos históricos foram realizadas por meio de análise epistemológica de Ludwik Fleck. A seguir, são descritos maiores detalhes da pesquisa. Também foi utilizada a pesquisa bibliográfica para levantamento de pesquisas em torno da construção coletiva da ligação covalente.

O estudo da história da construção do conhecimento relativo à 'Natureza da Ligação Química', tem como objetivo explicar os seguintes questionamentos: quais foram as fontes utilizadas por Linus Pauling? Quem o inspirou e/ou orientou? De quais 'Coletivos de Pensamento' recebeu influências? O que se constituiu como problema de pesquisa para o cientista? Quais eram os seus contemporâneos? Quais foram os debates envolvidos naquele período? Quais os legados deixados por seu estudo? Em termos fleckianos, buscaremos entender quais foram os Coletivos e Estilos de Pensamento que o influenciaram no processo de construção deste conhecimento. Assim, a partir destas questões nos propomos a analisar as fontes primárias, além de fontes secundárias como complementação de informações. Os questionamentos representam uma direção para quais documentos históricos analisar, visto que a dimensão de fontes primárias encontradas foi muito vasta.

A pesquisa documental tem como fonte documentos no sentido amplo, não só documentos impressos, como também jornais, fotos, filmes, gravações, documentos legais. Trata-se de documentos que ainda não receberam tratamento analítico, ou seja, são matéria-prima para desenvolvimento de investigação e análise (GIL, 1991).

Desse modo, a constituição de dados é realizada por meio de Fontes Primárias. Considera-se como Fontes Primárias, as fontes de História da Ciência, tais como manuscritos, correspondências, diários pessoais, anotações de aulas, livros e artigos científicos, bem como as fontes de caráter audiovisuais, como entrevistas com o cientista Linus Pauling, fotos, filmes, videoaulas, reportagens de jornal e a página institucional da Universidade Estadual de Oregon, a qual contém uma coletânea de materiais de primeira mão para uso de Fonte Primária.

As fontes primárias utilizadas no estudo sobre a 'Natureza da Ligação Química' estão apresentadas no QUADRO 1.

QUADRO 1 – AS FONTES PRIMÁRIAS ANALISADAS

<b>Código</b>	<b>Fontes Primárias</b>	<b>Descrição de Fontes Primárias</b>
A1	Áudio	'A short Autobiography'. 1977. (1'57"). (Uma breve autobiografia)
A2	Áudio	'Chemists Develop their Methods'. 1977. (4'48"). (Os Químicos desenvolvem seus métodos)
A3	Áudio	'Research by G.N. Lewis'. 1983. (1'). (Sobre a pesquisa de G.N. Lewis)
A4	Áudio	'Research by Irving Langmuir'. 1983. (2' 30"). (Sobre a pesquisa de Irving Langmuir).
V1	Vídeo	'Valence and molecular structure: Lecture 1, Part 1'. 1957. (5'35"). (Valência e estrutura molecular: lição 1, parte 1)
V2	Vídeo	'Lecture 1. Part 2'. 1957. (5'47"). (Lição 1, parte 2)
V3	Vídeo	'Lecture 1. Part 3'. 1957. (5'55"). (Lição 1, parte 3)
V4	Vídeo	'Lecture 1. Part 4'. 1957. (6'05"). (Lição 1, parte 4)
V5	Vídeo	'Lecture 1. Part 5'. 1957. (6'53"). (Lição 1, parte 5)
C1	Correspondência	'Letter from Linus Pauling to Arnold Sommerfeld'. 1925. (Carta de L. Pauling para A. Sommerfeld)
C2	Correspondência	'Letter from Linus Pauling to the Research Fellowship Board of the National Research Council'. 1925 (Carta de Linus Pauling para órgãos de fomento à pesquisa)
C3	Correspondência	'Letter from Linus Pauling to A. A. Noyes'. 1926
C4	Correspondência	'Letter from L. Pauling and Ava Helen to A. A. Noyes'. 1926
C5	Correspondência	'Letter from Linus Pauling to A. A. Noyes. 1926
C6	Correspondência	'Letter from Linus Pauling to G.N. Lewis'. 1928. (Carta de Linus Pauling para G.N. Lewis)
C7	Correspondência	'Letter from G.N. Lewis to Linus Pauling. 1928.
C8	Correspondência	'Letter from Linus Pauling to G.N. Lewis. 1929.
C9	Correspondência	'Letter from G.N. Lewis to Linus Pauling. 1929.
C10	Correspondência	'Letter from G.N. Lewis to Linus Pauling'. 1930.
M1	Manuscrito	'The Development of the Concept of the Chemical Bond'. 1983. (O desenvolvimento da concepção da ligação química)
P1	Paper- Artigo científico	LEWIS, G. N. The atom and molecule. 1916.
P2	Paper- Artigo científico	PAULING, L. The shared-electron chemical bond. 1928
P3	Paper- Artigo científico	PAULING, L. The nature of the chemical bond:1992.
L1	Livro científico	LEWIS, G.N. Valence and the Structure of atoms and molecules. 1923.

FONTE: OREGON STATE UNIVERSITY (1925-1954).

LEGENDA: Fontes Primárias consultadas por meio do sítio eletrônico da Universidade Estadual de Oregon. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/index.html>. Acesso em 10 fev. 2020. Além das fontes descritas, foram consultadas as narrativas presentes neste site, com 49 páginas e a agenda dia a dia, na qual constam todas as atividades profissionais desenvolvidas pelo cientista Linus Pauling.

Para a análise das fontes primárias, foram utilizados os conceitos da epistemologia de Ludwik Fleck, apresentados no QUADRO 2.

QUADRO 2 – CONCEITOS DA EPISTEMOLOGIA DE LUDWIK FLECK

<b>Conceitos</b>	<b>Definição- O que entendo em cada conceito</b>
Fato Científico	Relação de conceitos, conforme o <i>Estilo de Pensamento</i> , relacionado com as partes ativas e passivas do saber.
Protoideia	Ideia vaga, mais ou menos científica, que circula entre os <i>Coletivos e Estilos de Pensamentos</i> e em algum momento é retomado no saber científico.
Coletivo de Pensamento	Conjunto de pessoas que compartilham o mesmo modo de pensar, trocam pensamentos e possuem influência recíproca de pensamentos. Dentro da mesma comunidade científica, os pesquisadores compartilhar um estado do saber e, portanto, um estilo específico de pensamento.
Estilo de Pensamento	Percepção direcionada, forma particular de perceber o objeto a ser conhecido.
Círculo Esotérico	Círculo de especialistas de determinada área, no qual possuem mesma linguagem, mesmo modo de se entender. Circula neste, o saber especializado.
Círculo Exotérico	Círculo de pessoas leigas; leigas informadas e especialistas de outras áreas. Circula neste, o saber popular.
Tráfego Intracoletivo de Ideias	Comunicação ou circulação de pensamentos que ocorre no interior de um coletivo de pensamento, do Círculo Esotérico para o Exotérico, assegurando a extensão do estilo de pensamento, pressupõem-se o fortalecimento de ideias e formação de novos membros do grupo.
Tráfego Intercoletivo de Ideias	Circulação de pensamentos que ocorre entre dois ou mais coletivos de pensamento, contribuindo com a transformação do Estilo de Pensamento. Pressupõem-se mudança fundamental (a mudança envolvida pode ser pequena ou de forma completa).
Acoplamento Ativo	Conhecimento subjetivo, construído e organizado pela humanidade. Remete a uma construção do conhecimento científico.
Acoplamento Passivo	Conhecimento objetivo, surge passivamente com o agente organizador do <i>Fato Científico</i> .
Harmonia das ilusões	Tradição científica enraizada no Estilo de Pensar que impede o pesquisador perceber um novo <i>Estilo de Pensamento</i> ou a emergência de um <i>Fato Científico</i> .
Mutações de Estilo de Pensamento	Mudança no <i>Estilo de Pensamento</i> que ocorre de modo lento e gradativo, como no processo de evolução.

FONTE: AS AUTORAS (2020).

Para interpretação e análise dos documentos de Fontes Primárias foi utilizada a epistemologia de Fleck, de acordo com 'Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico' (FLECK, 2010).

Foi utilizada também a pesquisa bibliográfica para mapear as contribuições historiográficas, envolvendo o cientista Linus Pauling. Dessa maneira, para pesquisar estes estudos em fontes secundárias, foi utilizada a ferramenta "Current

bibliography” da Revista Isis, especializada em História da Ciência. O sítio eletrônico correspondente foi <[hsonline.org/resources/publications/current-bibliography/](http://hsonline.org/resources/publications/current-bibliography/)>, sendo último acesso em 09 de fevereiro de 2020. Os termos de busca usados foram ‘Linus Pauling’ e ‘Chemical Bond’. Desta busca, foram encontrados onze resultados, sendo cinco artigos, uma entrevista com Linus Pauling, duas teses, dois capítulos de livro e um livro (MARTINS, 2005).

Dos itens de busca, o livro correspondeu a uma biografia, cujo nome é Linus Pauling Pacificador, com ênfase no ativismo político na época da Guerra Fria. Os dois capítulos de livros corresponderam aos estudos de Pauling relacionados ao DNA, ao final de sua carreira. As duas teses são referentes às pesquisas das autoras Martha L. Harris e Ana Simões, autoras de dois dos cinco artigos encontrados Harris (2007) e Simões (2008), as quais serviram como referência bibliográfica. Os artigos de fonte secundária foram utilizados como suporte de informações para o contexto coletivo de Linus Pauling, a noção de valência como Protoideia, contemporâneos de Linus Pauling, debates envolvidos entre a Teoria da Ligação Química e a Teoria do Orbital Molecular e Estilo de Pensamento. Estas fontes receberam tratamento de análise por epistemologia de Fleck (2010), tal como as fontes primárias, descrita no Quadro 2.

Foram utilizados também artigos de fontes secundários nacionais, em língua portuguesa, além de livros técnico-científicos relacionados à temática desta pesquisa, os quais são citados no corpo de texto e nas referências bibliográficas. Todas as fontes primária ou secundária receberam análise da epistemologia fleckiana.

### **3 COMO SURTIU E EM QUE CONSISTE A LIGAÇÃO COVALENTE?**

Neste capítulo é explorada a história da construção do conhecimento sobre a ‘Natureza da Ligação Química’<sup>11</sup>, a partir de um ‘Fato Científico’ pesquisado pelo cientista Linus Pauling (1901-1994), a saber: a ligação covalente.

---

<sup>11</sup> Termo utilizado por Linus Pauling ao se referir às ligações químicas, comumente escrito nas Fontes primárias.

O conceito de Fato Científico é apresentado por Fleck (2010) como objeto da teoria do conhecimento, o qual exemplifica seu próprio problema de pesquisa. Nesse sentido, Fleck escolhe um fato novo para a ciência, onde não estão esgotadas as possibilidades de investigações e cuja aplicabilidade no campo da medicina é extremamente útil e importante. Assim, Fleck escolhe “um dos fatos mais aceitos da medicina, a saber, o fato de a chamada reação de Wassermann ser relacionada com a sífilis” (FLECK, 2010, p. 38). Dessa maneira, o médico polonês apresenta o seguinte problema de pesquisa: *como surgiu e em que consiste esse fato científico?* Isto é, Fleck investigou como surgiu a associação da reação de Wassermann à sífilis e em que consistiu tal reação.

Assim como Fleck (2010) se propõe a investigar como surgiu e em que consiste a reação de Wassermann, como seu problema de pesquisa, para analisar a história do conhecimento sobre a sífilis, da mesma forma, neste estudo nos propomos a analisar a história da ‘Natureza da Ligação Química’, com o questionamento: como surgiu e em que consiste o conceito da ligação covalente?

Para Fleck (2010), o conhecer tem significado de constatar resultados inevitáveis sob certas condições. As condições traduzem o acoplamento ativo, o qual forma parte do coletivo do conhecimento, enquanto os resultados inevitáveis são equivalentes aos acoplamentos passivos, pois “o ato de constatação compete ao indivíduo” (FLECK, 2010, p. 83). Nesse sentido, entendemos, por meio da epistemologia fleckiana, a reação de Wassermann como Acoplamento Ativo (ou conexão ativa), no qual ocorre uma atividade humana organizada para construção de determinado conhecimento científico, enquanto a doença sífilis como Acoplamento Passivo (ou conexão passiva), pois sugere compreensão sobre o sangue sífilítico a partir dos resultados das constatações do teste diagnóstico.

De maneira semelhante, compreendemos a ‘Natureza da Ligação Química’ como o Acoplamento Passivo, objetivo e passivo ao agente organizador do fato e, a ligação covalente como Acoplamento Ativo. Nesse sentido, a ligação covalente representa uma Conexão Ativa, ou seja, (re)organizada por Linus Pauling durante os primeiros anos de sua carreira acadêmica, com auxílio de outros químicos, contemporâneos e compartilhadores do mesmo Coletivo e Estilo de Pensamento.

A partir de tal compreensão, neste capítulo é apresentado um estudo da ‘Natureza da Ligação Química’, com a construção da ideia de covalência, na

confluência dos trabalhos de Linus Pauling, Gilbert N. Lewis e Irving Langmuir, logo, a partir de um coletivo de pensamento.

### 3.1 O CONTEXTO COLETIVO DE LINUS PAULING

Essa seção tem como objetivo mostrar quais foram os Coletivos de Pensamento que Linus Pauling<sup>12</sup> participou. Nesse sentido, torna-se importante conhecer quais foram as fontes que o influenciaram, quem o inspirou a estudar sobre as ligações químicas e quais foram seus orientadores acadêmicos.

Segundo White (1980), Linus Pauling nasceu em Portland, no estado de Oregon, em 28 de fevereiro de 1901. Seu pai, Herman Pauling foi farmacêutico e trabalhava como vendedor de empresa farmacêutica atacadista. Na infância, Linus Pauling chegou a acompanhar seu pai no trabalho de preparação e entrega de medicamentos. Todavia, Pauling perdeu seu pai quando tinha apenas nove anos de idade e precisou trabalhar muito jovem, pois sua mãe cuidava de mais duas filhas menores.

Em 1917, conforme Hager (1998), Pauling ingressou na Oregon Agricultural College's no programa de engenharia química, uma vez que gostava de estudar ciências e matemática. Para ter melhores condições financeiras, Pauling chegou a trabalhar 40 horas semanais ao lecionar aulas de química no laboratório da universidade. Em certa ocasião, enquanto folheava os livros na estante do laboratório teve contato com um artigo de Lewis de 1916. Após essa leitura, Linus Pauling ficou surpreso com a existência da ligação química que mantinha os átomos unidos.

Assim, ao refletir sobre o conteúdo que Lewis havia escrito naquele artigo, Linus Pauling decidiu ser químico e estudar sobre a ligação química e a estrutura das moléculas. Nesse sentido, foi o trabalho do Dr. Lewis que o inspirou,

---

<sup>12</sup> O químico norte-americano Linus Carl Pauling foi escolhido como primeiro foco de estudo sobre o Coletivo de Pensamento e Estilo de Pensamento das ligações químicas, uma vez que este cientista possui grande representatividade dentre os químicos do século XX. Foi laureado com dois prêmios Nobel não compartilhados, um pela Química (1954) e outro pela Paz (1963). Participou ativamente da química durante cerca de sessenta anos, ou seja, mais da metade de um século. Introduziu explicações sobre as ligações químicas, utilizando os pressupostos da teoria quântica, tais como hibridização, ressonância e escala de eletronegatividade (GONÇALVES-MAIA, 2017). Ademais, sendo Fleck socioconstrutivista, podemos nos basear no Coletivo e Estilo de Pensamento pertencentes a um cientista para compreensão do todo. Já que na teoria do conhecimento, o pensamento é sempre coletivo e nunca individual (FLECK, 2010).

inicialmente, a dedicar sua vida à química. Além do artigo de Lewis, Pauling também se inspirou em artigos de Irving Langmuir do ano de 1919. Numa análise fleckiana, Linus Pauling estava sendo iniciado naquele 'Coletivo de Pensamento', compreendendo o 'Estilo de Pensamento' sobre a estrutura da ligação química. O interesse de pesquisa de Linus Pauling era saber como os átomos são unidos dentro da ligação, a que distância estão um do outro nesta ligação e muitos outros detalhes a respeito do átomo (WHITE, 1980).

Ao terminar a graduação, Pauling se candidatou para a Universidade da Califórnia em Berkeley, onde Gilbert Lewis era chefe do departamento de química. Também se candidatou para a Universidade de Harvard, perto de Boston e por fim, para o Instituto de Tecnologia da Califórnia (CALTECH). O retorno de aceite veio desta última universidade, onde o químico Arthur A. Noyes, chefe do departamento de química, estava interessado na natureza da ligação química. Desse modo, foi oferecida a ele uma bolsa de estudos. Então, Linus Pauling ingressou na Caltech em outubro de 1922, aos 21 anos. Esse programa de pós-graduação era composto por sete alunos e nove professores, todos selecionados pelo Dr. Noyes.

Segundo Filgueiras (2016), Lewis e Arthur Amos Noyes trabalharam juntos em Massachusetts Institute of Technology (MIT) em 1905, ambos se conheciam e também mantinham contato. De acordo com Harris (2007), Lewis desenvolveu sua ideia sobre valência em grande parte nos anos iniciais de sua carreira, especialmente no grupo de pesquisa progressiva no MIT, onde ficou até se tornar chefe do departamento de química da Universidade da Califórnia em Berkeley em 1912. Como conhecia as ideias de Lewis, provavelmente Noyes pertencia ao mesmo Coletivo e Estilo de Pensamento e viu em Pauling potencial para o desenvolvimento de sua pesquisa.

As pesquisas de Pauling no doutorado foram determinar, por meio de fotografias de raio-X, as posições dos átomos nos cristais, encontrar as distâncias entre os átomos e os ângulos que mantêm os átomos unidos. Segundo White (1980), Roscoe Dickinson foi o professor escolhido para orientar Linus Pauling, pelo próprio Noyes.

Pauling recebeu o seu título de doutor sob a orientação de Roscoe Dickinson, primeiro doutor em química do California Institute of Technology, que literalmente o pegou pela mão e lhe ensinou cristalografia. Arthur Amos Noyes foi recrutado do MIT para dirigir o Gates Chemical Laboratory

exatamente três anos antes do ingresso de Pauling como estudante na recentemente energizada Caltech (GREENBERG, 2009, p. 335).

De acordo com Greenberg (2009), Noyes desejava manter o jovem Linus Pauling na sua universidade após o término do doutorado e o afligia a crescente amizade de Pauling com Lewis, chefe do departamento de química em Berkeley. Assim, Noyes incentivou a viagem de Pauling para a Europa o mais depressa possível, antes que a amizade entre os dois aumentasse. Desse modo, agendou um jantar para Pauling com o diretor da Fundação Guggenheim (um amigo de Noyes). O resultado desse encontro foi uma bolsa de estudos para trabalhar nos grandes centros de pesquisa em física teórica na Europa. Possivelmente, o interesse de Noyes pela pesquisa de Linus Pauling se dava porque estes cientistas compartilhavam do mesmo Coletivo de Pensamento, em relação à ligação química e as estruturas das moléculas.

Em correspondência<sup>13</sup> C1, em 20 de outubro de 1925, Linus Pauling pede para Arnold Sommerfeld auxílio hospedagem na Universidade de Munique para que pudesse investigar sobre a 'natureza da ligação de valência não polar' que para ele merecia investigação teórica. Ou seja, Pauling estudava sobre a ligação covalente, ainda que não existisse essa nomenclatura. O termo 'ligação de valência não polar' era destinado aos compostos não iônicos, aqueles que compartilhavam elétrons. Numa perspectiva fleckiana, estava ocorrendo a emergência de um fato científico, pois o conceito sobre ligação covalente estava sendo formado.

O período de vigência da bolsa de estudos foi de março de 1926 a setembro de 1927, marcando 19 meses. Além de pedir permissão para permanecer no Instituto de Tecnologia da Califórnia (CALLTECH), Pauling recebeu os apoios solicitados, desde a hospedagem, bolsa de estudos e permanência na universidade de origem (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954). Esses auxílios e concessão de bolsa nos remetem à importância do apoio à pesquisa dentro das universidades, uma vez que refletem diretamente na produção do cientista e no desenvolvimento da ciência. Portanto, fazer ciência é também apoiar financeiramente o pesquisador no seu trabalho (FLECK, 2010).

---

<sup>13</sup> Correspondência de Pauling para Sommerfeld- **Linus Pauling: the Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/safe3.018.192-lp-sommerfeld-19251020-transcript.html>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

Na correspondência<sup>14</sup> C2, em 28 de dezembro de 1925, Pauling explica formalmente ao Conselho Nacional de Pesquisa, responsável pelo comitê de bolsas, as pesquisas que desenvolvia. Entre estas: 1) as estruturas cristalinas dos gases simples; 2) o estudo com Raio-X de certas soluções sólidas e da estrutura de cristais, como a magnetita, a forma cúbica do óxido de ferro etc.; 3) soluções sólidas de nitrato de sódio e fotografias em pó a fim de obter informações sobre a natureza das soluções sólidas e a estrutura do íon nitrito.

Com a oportunidade de apoio para estudar na Europa, Linus Pauling conheceu a dimensão matemática da teoria quântica. Esta experiência de participar das discussões da nova física, o ajudou a reestruturar a química e investigar sobre as ligações químicas, o que contribuiu para uma nova compreensão, tanto da estrutura como do comportamento de toda a matéria (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954). Dessa maneira, com base em Fleck (2010), depreende-se que Linus Pauling estava formando um novo 'Estilo de Pensamento', um novo estado de conhecimento químico estava sendo produzido, uma vez que se construía uma explicação detalhada sobre as estruturas das moléculas tendo como base a nova teoria atômica.

Enquanto esteve na Europa, muitas das cartas de Pauling eram destinadas a Noyes, o seu professor da Caltech, como relatado em C3<sup>15</sup>, C4<sup>16</sup> E C5<sup>17</sup>. Nestas, foram relatadas as experiências de viagens, como a visita de dois meses na Itália com sua esposa; bem como os artigos que havia lido de Sommerfeld sobre os átomos estarem conectados por dois elétrons em orbitais, e o quanto recebeu de financiamento etc. Pauling também conta a Noyes sobre sua adaptação em Munique, Alemanha. Como por exemplo, as diferenças culturais mesmo no meio acadêmico, nas quais os seminários eram apresentados como novos artigos e sem discussões ao final. Talvez, na perspectiva de Pauling essas diferenças o fizessem

---

<sup>14</sup> Correspondência C2- **Linus Pauling: the Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/safe3.018.186-lp-rfb-19251228.html>. Acesso em: 02 fev. 2020.

<sup>15</sup> Correspondência C3- **Linus Pauling: the Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/corr278.1-lp-noyes-19260425.html>. Acesso em 02 fev. 2020.

<sup>16</sup> Correspondência C4- **Linus Pauling: the Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/corr278.1-lp-noyes-19260522.html>. Acesso em: 02 fev. 2020.

<sup>17</sup> Correspondência C5- **Linus Pauling: the Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/corr278.1-lp-noyes-19260712.html>. Acesso em: 02 fev. 2020.

sentir saudades de casa pela falta de discussões acaloradas, mas também os cientistas não eram expostos às críticas. Discutia-se os problemas de pesquisas somente em particular, com um professor experiente na área. No entanto, em grande parte dessas correspondências eram exploradas as possibilidades de pesquisas e publicações na área. Linus Pauling solicitava muitos conselhos de Noyes e compartilhava seus principais anseios (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Eu gostaria de receber seu conselho em relação aos meus trabalhos de publicação durante este ano. Você considera que devo publicar nas revistas americanas? Eu preparei um artigo para "Zeitschrift für Physics", mas agora tenho que revisá-lo, incluindo a nova mecânica quântica. As publicações alemãs parecem melhores que as nossas de uma maneira, na Zeitschrift für Physics, por exemplo, os artigos são geralmente publicados seis semanas após o recebimento (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado), [tradução nossa].

Durante o período que permaneceu na Europa, Sommerfeld foi como um professor orientador para Linus Pauling. Juntos visitaram museu de ciências, discutiram sobre a estrutura da matéria e de vários cristais. Como exemplo, Pauling lê no artigo de Sommerfeld que a 'ligação de elétrons compartilhados' está presente em vários cristais, incluindo óxido de berílio (II) (BeO), sulfeto de zinco (II) (ZnS), iodeto de prata(I) (AgI) etc. Destes, Pauling tem dúvidas quanto ao sulfeto de zinco (II) (ZnS) e iodeto de prata (I) (AgI), pois os considerava como compostos iônicos. Pauling relata que foi demonstrado termodinamicamente que a molécula, contendo átomos de nitrogênio e de alumínio, AlN, não consiste em íons  $Al^{+3}$  e  $N^{-3}$ . Ademais, Sommerfeld apresentou trabalho em congresso no idioma local para Pauling, uma vez que este estava aprendendo a falar alemão. Além disso, direcionou problemas de pesquisas na área da física teórica, como era comum no trabalho acadêmico europeu. Desse modo, podemos perceber que Pauling estava sendo inserido naquele Coletivo de Pensamento ao conhecer as pesquisas da física teórica, trocar ideias, ser instigado por um professor mais experiente naquela área (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

O intuito de Linus Pauling era realizar um tratamento teórico das propriedades de átomos e íons. Tal cientista, mantinha o interesse em pesquisar a função de onda da equação de Schrödinger como significado para o estudo de raio-X de cristais. Estes trabalhos receberiam tratamento experimental quando Pauling regressasse ao seu laboratório na América. Pauling acreditava que os resultados

dos tratamentos teórico e experimental, produziriam informações sobre a 'Natureza da Ligação Química'. Assim, a partir da influência de Sommerfeld, emergia uma nova teoria científica e por sua vez, surgia um novo 'Estilo de Pensamento', além do desenvolvimento do Fato Científico (FLECK, 2010).

Em termos epistemológicos, ao conhecer esse novo ramo da física, Linus Pauling estava em meio ao Tráfego Intercoletivo de Ideias, pois circulavam novos pensamentos entre cientistas colaborando para mudanças no modo de compreender as ligações químicas. Dessa maneira, estava começando a se constituir um novo 'Estilo de Pensamento' em relação às ligações químicas e conseqüentemente, para a ligação covalente (FLECK, 2010).

Chegando em Munique na primavera de 1926, Pauling imediatamente contatou Arnold Sommerfeld. Ele iria depois passar um tempo com Niels Bohr em Copenhague. Entretanto, a "velha" teoria quântica subjacente ao átomo de Bohr-Sommerfeld estava justamente começando a desmoronar no final de 1925 e Pauling testemunhou o trabalho dos físicos Louis De Broglie, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli, Paul Dirac, Max Born, Walther Heitler e Fritz London (GREENBERG, 2009, p. 335).

Conforme Oregon State University (1925-1954), Pauling conversou pessoalmente com vários pesquisadores durante sua permanência no Instituto de Física Teórica na Universidade de Munique, entre os anos 1926 e 1927. A ciência que aprendera em Munique, Copenhague e Zurique foi a nova abordagem da teoria quântica, a qual compartilhou pessoalmente com Niels Bohr (do modelo atômico e da controvérsia com Einstein), Erwin Schrödinger (da equação da onda), Werner Heisenberg (do princípio da incerteza) e Wolfgang Pauli (do princípio da exclusão). Dessa maneira, podemos perceber a influência entre Coletivos de Pensamento, pois Pauling considerava que o tratamento dado aos átomos, moléculas e íons deveria receber um olhar químico (da química molecular e estrutural) e não apenas físico. Era comum a crença dentro do Coletivo de Pensamento dos físicos que o tratamento aos átomos era função exclusiva da física. Tornava-se possível, desse modo, as trocas de pensamentos e influências recíprocas, visto que o processo de conhecimento não é um processo individual, mas sim uma atividade social.

Para White (1980), era muito interessante conhecer o círculo de cientistas daquela época, bem como discutir novas ideias sobre os átomos e moléculas. Uma das novas ideias envolvia a mecânica quântica, definida como uma teoria matemática para explicar o movimento de elétrons dentro dos átomos e moléculas,

responsáveis pela formação da ligação química. Ou seja, no contexto científico da época, a teoria quântica marcava uma nova base para a ciência, simbolizando um novo 'Estilo de Pensamento' com grandes influências para a física e para a química.

De acordo com Pauling (1992), a teoria quântica iniciou em 1900 com investigações de Max Planck a respeito da lei da radiação, na qual introduziu uma constante física que levou seu nome, a constante de Planck. Tal teoria foi utilizada por Albert Einstein, para formulação do efeito fotoelétrico e Niels Bohr a utilizou para interpretar espectros atômicos. Houve muitas outras contribuições de físicos para aperfeiçoamento a compreensão do fenômeno, mas esta teoria precisou ser revisada e entre os anos de 1925 e 1926, Heisenberg, Dirac e Schrödinger realizaram tal reformulação. A partir daí, segundo Pauling (1992), a mecânica quântica é confiável em sua aplicação a todos os problemas da química e a quase todos da física.

Cheguei na Alemanha em 1926, quando Schrödinger estava publicando seus trabalhos sobre a equação de onda. No final de 1926, escrevi dois artigos, aplicando a mecânica quântica a certas propriedades físicas dos átomos e íons monoatômicos (estrutura fina de raios-X, polarização elétrica, suscetibilidade diamagnética e distribuição de elétrons), e comecei a trabalhar na aplicação da mecânica quântica para o problema da Natureza da Ligação Química (PAULING, 1992, p. 01).

Com a ida de Linus Pauling a Europa, foi possível a circulação de ideias, especialmente porque este considerava que a química atômica e molecular precisava dessas investigações teóricas. Inclusive, nas correspondências com Noyes, o químico disse estar aprendendo bastante sobre os fundamentos da teoria quântica com Sommerfeld e outros físicos. Ou seja, Linus Pauling estava em meio a Circulação de Ideias ao conhecer as particularidades dos trabalhos de outros cientistas e estava aprendendo sobre o estado do conhecimento da teoria quântica (FLECK, 2010).

Após um ano e meio na Europa, Linus Pauling recebeu um convite da Caltech, na Califórnia, para trabalhar como professor assistente de química, junto a seu professor Noyes. Lá começou a escrever memorando a respeito de seus estudos desde a fase da graduação. Essas contribuições sobre a 'natureza da ligação química' foram muito importantes para a ciência química, inclusive na área de medicina (WHITE, 1980).

Em 1931, Pauling escreveu um longo artigo sobre tudo que aprendera desde a graduação em 1922. Ele chamou de “A natureza da ligação química”. Neste, continha tudo o que sabia sobre o tamanho e estrutura das moléculas, conforme determinado por suas ligações químicas. Ele sustentou que todas as moléculas no mundo são determinadas por suas ligações químicas (WHITE, 1980, p. 47).

Para Nye (2015), Pauling (1901-1994) viveu quase todo o século XX e a química era o centro da sua vida. A carreira dele foi na Caltech, instituição muito diferente daquela que o abrigou durante a graduação em 1922. Como a Química é uma ciência de fronteira, Pauling se movia de uma área para outra, ou seja, nas interfaces entre química e física e entre a química e a biologia. Buscava sempre algo novo, novas tendências na ciência. Dessa forma, trabalhou com cristalografia de raio-X, mecânica estatística, mecânica quântica, difração de elétrons, estudos termodinâmicos de moléculas, a química da vida e biologia molecular, imunologia, estudos estruturais dos metais etc. No entanto, nunca esqueceu dos problemas de pesquisa relacionados à ligação química.

Segundo Maksic e Orville-Thomas (1999), nenhum outro cientista fez tantas contribuições em ramos diferentes da química e disciplinas de fronteira como Linus Pauling. Além disso, a ligação química é uma das três bases mais importantes da química clássica, junto com a noção de átomos e a estrutura molecular. Este último reflete uma infinidade de propriedades das moléculas armazenadas em seus parâmetros estruturais, tamanho, forma e simetria. Linus Pauling foi, entretanto, o pioneiro da química quântica na era pré-computacional, o que significa em termos fleckianos que esse químico introduziu ideias para formação de um novo ‘Estilo de Pensamento’, ajudando a Química contemporânea a formalizar uma nova teoria científica, a teoria de ligação de valência. Ao usar sua capacidade de simplificação, Pauling lançou luz sobre a arquitetura das moléculas e cristais, pois explicou as propriedades direcionais da ligação covalente de maneira elegante, introduzindo orbitais híbridos locais polarizados e inaugurou o conceito de ressonância na clássica teoria da ligação de valência, trazendo transformação para esse ‘Estilo de Pensamento’.

De acordo com Oregon State University (1925-1954), Linus Pauling declara que teve a ideia sobre um caminho que simplificasse as equações da mecânica quântica de tal maneira, que permitisse uma solução aproximadamente fácil.

Em dezembro de 1930, pensei em uma maneira de contornar as dificuldades matemáticas- uma simplificação que tornava muito fácil obter resultados, além de resolver equações sobre a estrutura de complexos octaédricos, como o íon ferrocianeto em ferrocianeto de potássio, ou complexos quadrados planares, íon tetracloroplatinato (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado), [tradução nossa].

Em maio de 1937, Pauling foi nomeado chefe do Departamento de Química na Caltech, sendo sucessor de Noyes. Mais tarde, iniciou suas pesquisas sobre a estrutura da proteína. Pauling e Corey estudaram esse assunto por dez anos, usando as fronteiras interdisciplinares da biologia e da física para auxiliá-los. Em 1939, Pauling escreve seis adições para a ligação química, o qual foi publicado um livro com o mesmo nome, recebendo traduções para vários idiomas. Tal livro foi dedicado ao bom amigo, Dr. Gilbert Newton Lewis. Diante de todas estas atividades, White (1980) considera que Pauling foi um dos pioneiros a usar a química, física e biologia no estudo da estrutura da proteína.

Linus Pauling foi a primeira pessoa a ganhar dois prêmios Nobel não compartilhados, um de Química, em 1954, sobre a 'Natureza da Ligação Química' e sua aplicação na elucidação de moléculas complexas e outro da paz em 1962. Linus Pauling deixou seu legado e muitas contribuições para a química do século XX, como exemplo, reconstruiu a química com base na nova mecânica quântica ao explicar a estrutura da ligação e assim, expandir as regras da teoria da ligação (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Em breve autobiografia, Linus Pauling resume assim sua trajetória:

Essa é minha história. Eu fui para Pasadena em 1922 como um estudante de pós-graduação. Obtive meu doutorado em 1925. Fui bolsista do National Research Council por oito meses e bolsista do Guggenheim por 19 meses. Minha esposa e eu nos casamos nesse meio tempo. Então, minha esposa e eu fomos para a Europa e estudamos em vários lugares. Quando voltamos aos EUA, fui professor assistente, em seguida, professor associado e, após, presidente da divisão por 22 anos, divisão de química e engenharia química<sup>18</sup> (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado), [tradução nossa].

Certamente a viagem à Europa no início de sua carreira foi marcante para Linus Pauling, a tal ponto de a mencionar na descrição de uma breve autobiografia. Ao viajar para Munique, entendemos que esse cientista estava conhecendo o

---

<sup>18</sup>Áudio A1: **Linus Pauling: the Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/audio/1977v.66-life.html>. Acesso em 02 fev. 2020.

Coletivo e Estilo de Pensamento dos cientistas europeus. Na Europa se familiarizou com a física moderna, se inteirou do estado do conhecimento dos físicos. Houve 'Circulação Intercoletiva de Ideias', aquela que ocorre no interior de um 'Círculo Esotérico', de especialistas na área. Assim, Pauling esteve inserido no Coletivo e Estilo de Pensamento da teoria quântica e, desse modo, pode ajudar Gilbert Lewis no processo de construção do conhecimento químico relativo às estruturas moleculares.

Desse modo, o processo de construção do conhecimento humano depende do condicionamento social em que o Coletivo e Estilo de Pensamento estão inseridos. Os pensamentos dentro de uma comunidade circulam, são lapidados, alterados, reforçados ou suavizados e irão influenciar outros conhecimentos, opiniões, conceitos e hábitos de pensar. Fleck (2010) enfatiza que o 'conhecer' somente é possível dentro de um 'Coletivo de Pensamento'.

De modo simples, Fleck (2010) argumenta que sempre há um 'Coletivo de Pensamento' quando duas ou mais pessoas trocam ideias. Caracterizam-se por coletivos momentâneos ou causais de pensamento, que aparecem ou desaparecem em determinados períodos. Ao trocarem ideias, as pessoas formulam pensamentos coletivos que não teriam se estivessem sozinhas. Além dos coletivos causais e momentâneos, existem os coletivos de pensamento estáveis que se caracterizam quando um grupo organizado socialmente existe por um tempo mais longo e, a partir dessa organização formalizada, o estilo de pensamento se fixa e ganha estrutura formal. Assim, a comunidade científica de físicos teóricos é um exemplo deste Coletivo de Pensamento estável, no qual é formalizado o Estilo de Pensamento.

O condicionamento social em torno de qualquer processo de conhecimento, segundo Fleck (2010), ocorre por meio de uma relação binária entre sujeito e objeto, ou seja, entre o ator do conhecimento e algo a ser conhecido. No entanto, nessa relação existe um terceiro elemento: o estado do saber. É pontuado ainda, pela concepção fleckiana, que se não fosse pelo estado do saber, não haveria como se entender as etapas para se chegar a um sistema fechado e a um Estilo de Pensamento. Portanto, essa visão se afasta da ideia empirista, em que o sujeito é neutro e 'treinado' para investigar o objeto, fixo, fechado, a ser desvendado ou descoberto.

O estado do saber, nesse contexto, sofre influência das pré-ideias do saber no passado, visto que algo já conhecido influencia no conhecimento novo.

O pensamento nunca começa do zero, há sempre uma base, uma história prévia, há sempre outros lugares, outras instâncias, outros indivíduos dos quais provêm as noções utilizadas para formular o pensamento de alguém. Pensar, portanto, é uma atividade genuinamente coletiva que pressupõe troca. Ou seja, um “coletivo de pensamento” existirá em qualquer situação em que duas ou mais pessoas estiverem realmente trocando ideias (CONDÉ, 2012, p. 44).

Dessa maneira, o sujeito que participa do processo de construção do conhecimento, além de não ser neutro, possui caráter histórico, social e cultural, os quais determinam sua perspectiva, sua compreensão do objeto. O sujeito é, portanto, “um sujeito coletivo que compartilha práticas, concepções, tradições e normas, ou seja, um ‘Estilo de Pensamento’ próprio do Coletivo de Pensamento ao qual pertence” (LAMBACH; MARQUES, 2014, p. 11).

Desse modo, o estado do saber ultrapassa quaisquer habilidades individuais, sendo fundamentado pelo agente do coletivo de pensamento. Assim, Fleck define o coletivo de pensamento como:

*[...] a comunidade de pessoas que trocam pensamentos ou se encontram numa situação de influência recíproca de pensamentos, temos em cada uma dessas pessoas, um portador do desenvolvimento histórico de uma área de pensamento, de um determinado estado do saber e da cultura, ou seja, de um estilo específico de pensamento. Assim, o coletivo de pensamento representa o elo que faltava na relação que procuramos. (FLECK (2010, p. 82)*

Assim, compreendemos que Linus Pauling participou de dois Coletivos de Pensamento enquanto pesquisador de ciência naturais. Um relacionado à sua formação em Química, com influências dos químicos Arthur A. Noyes, Roscoe Dickinson e Gilbert Lewis, no seu país de origem (EUA). E outro relacionado à física teórica, em especial a teoria quântica, marcante para a ciência do século XX, desenvolvida na Europa. Conforme Oregon State University (1925-1954), Pauling considerava que a química atômica e molecular exigia esse conhecimento da nova física. Como exemplo, este químico tinha interesse em aprender sobre a distribuição eletrônica de orbitais em átomos e moléculas.

Segundo Harris (2007), os métodos físicos da mecânica quântica, espectroscopia e cristalografia, haviam proporcionado aos químicos uma compreensão mais apurada do tamanho da estrutura de átomos e moléculas. Além disso, Pauling considerou o conceito de ressonância inovador, o qual poderia marcar um novo ‘Estilo’ do conhecimento químico (HARRIS, 2007).

### 3.2 A NOÇÃO DE VALÊNCIA COMO PROTOIDEIA DA LIGAÇÃO COVALENTE

Essa seção busca compreender a noção de valência como ‘Protoideia’ da Teoria de Ligação e do termo covalência, fundamentais no desenvolvimento da construção coletiva da ligação covalente, nosso ‘Fato Científico’. Dessa maneira, primeiro veremos como o ‘Fato Científico’ pode estar associado a uma Protoideia na concepção de Fleck (2010). Após, entenderemos as origens da noção de valência, o que se constituía como problema de pesquisa no século XIX, bem como um paralelo dos resquícios do conceito de valência daquele período com o que se entendia sobre a valência no início do século XX.

Ludwig Fleck explica que “o fato científico é uma construção social e linguística do pensamento coletivo” (CONDÉ, 2017, p. 76). Como exemplo, na obra fleckiana, a sífilis não foi descoberta como um ‘Fato Científico’ dado, pronto e acabado. Mas, pelo contrário, este fato foi sendo construído a partir de um longo processo com inúmeras idas e vindas, em diferentes épocas, com diferentes contextos, diversas tentativas de elaborar explicações para a sífilis. Desse modo, Fleck define o fato científico como algo que se entrelaça com o ‘Estilo de Pensamento’:

Assim nasce o fato: primeiro um sinal de resistência no pensamento inicial caótico, depois uma certa coerção de pensamento e, finalmente, uma forma (Gestalt) a ser percebida de maneira imediata. Ele sempre é um acontecimento que decorre das relações na história do pensamento, sempre é resultado de um determinado estilo de pensamento (FLECK, 2010, p. 144-145).

Para Fleck (2010), muitos fatos científicos podem ser associados às ‘Protoideias’ ou Pré-ideias, sendo estas definidas como ideias pré-científicas mais ou menos vagas que influenciam o desenvolvimento do conhecimento científico. Como exemplo, Fleck (2010) cita a ideia vaga de alteração no sangue da pessoa sífilítica. O discurso de sangue impuro estava tão presente na linguagem popular que, com o passar do tempo, passou a influenciar as ideias sobre o sangue sífilítico, fazendo com que os pesquisadores se rendessem à opinião pública. Nesse sentido, Fleck argumenta que a reação de Wassermann (exame de diagnóstico da sífilis) “é a expressão científica moderna (referente à época de 1935) e uma pré-ideia existente

há séculos, que contribuíram para a construção do conceito de sífilis” (FLECK, 2010, p. 65, parênteses adicionados).

No modelo epistemológico de Fleck, baseado na matriz biológica, encontramos uma particularidade no exemplo de Protoideia associada ao Fato Científico. Nesta, o conhecimento possui circulação do saber popular para o saber especializado, uma vez que as pessoas ficavam doentes, conversavam sobre esta doença e havia uma ênfase moral em torno desta, provocando seu impacto nas atividades de pesquisa.

No entanto, Fleck (2010) menciona que também existem Protoideias em outras áreas do conhecimento. Como exemplo, no campo da Química, a ‘Protoideia’ de átomo da antiguidade grega forneceu uma pré-ideia para a teoria moderna dos átomos. Isto é, para a teoria atômica quântica, trazendo significado para a ligação e para a formação das substâncias.

As pré-ideias também se encontram em outras áreas do conhecimento. A antiguidade grega forneceu a pré-ideia à teoria moderna dos átomos, ensinada principalmente por Demócrito em sua atomística primitiva [...] Permanentemente verifica-se, com perplexidade, quantos motivos da moderna teoria dos átomos são pré-formulados nas teses dos atomistas antigos: o significado da ligação e separação dos átomos; seus movimentos mútuos de queda e seus resultados; os efeitos de pressão e impulsão etc. (FLECK, 2010, p. 65).

Portanto, o conceito de ‘Protoideia’ pode ser compreendido como diretriz para o desenvolvimento do conhecimento científico. Ainda que haja uma ligação evolutiva em uma teoria científica, as protoideias permanecem nessa construção (FLECK, 2010).

As Protoideias, para Fleck (2010), são pré-ideias, ou ideias pré-científicas de origem remota e histórica, nas quais podem ser reinterpretadas por diferentes Estilos de Pensamento. De modo que as Protoideias representam ideias vagas, mais ou menos confusas, imprecisas, nem certas, nem erradas na sua totalidade, “mas que assumem uma função heurística capaz de regular o processo que envolve mutações dos estilos de pensamento”. Ou seja, não se pode julgar como erro os conceitos científicos que em outro Coletivo e Estilo de Pensamento faziam sentido (MASSONI; MOREIRA, 2015, p. 247).

Será que a teoria do conhecimento pode permanecer indiferente diante do fato de que muitas concepções científicas se desenvolveram, com certa perseverança, de protoideias, que, em sua época, não se sustentavam com provas válidas? [...] as protoideias devem ser consideradas como pré-

disposições histórico-evolutivas de teorias modernas e sua gênese deve ser fundamentada na sociologia do pensamento (FLECK, 2010, p. 66).

No percurso histórico da construção coletiva da ligação covalente também observamos um exemplo de 'Protoideia': a noção de valência. Desse modo, Araujo Neto (2007) afirma que a noção de valência é central na história da Química pela capacidade de aproximar o químico com o mundo interior da transformação da matéria. Assim, a noção de valência nasce com a influência da afinidade química.

Uma questão importante a ser considerada no nascedouro da noção clássica de valência é a influência que esta recebe da noção de afinidade química, utilizada como conceito organizado da rede de pesquisas desenvolvidas na Química durante os séculos XVII e XVIII (ARAUJO NETO, 2007, p. 14).

A Química no início do século XIX foi marcada pelos estudos dos produtos naturais, de origem das plantas. Segundo Nogueira e Porto (2019a), o conceito de valência foi desenvolvido porque havia a necessidade de síntese e caracterização de compostos orgânicos, requisitos da indústria farmacêutica, em alta na Alemanha. Assim, estava em vigor a crescente pesquisa da química orgânica. Encontramos nesse caso, um fator externalista que influenciou a pesquisa científica acerca da noção de valência devido à necessidade de representação estrutural dos compostos.

De fato, conforme Camel, Koehler e Figueiras (2009), o conceito de valência nasceu no ambiente da Química Orgânica em que o principal problema de pesquisa que inquietava os pesquisadores da área era a respeito do mundo invisível: "o que podemos dizer (e escrever) acerca do mundo interior da matéria?" (ARAUJO NETO, 2007, p. 14).

Dessa maneira, trabalharam com a noção de valência, na pesquisa em química orgânica, de acordo com Araujo Neto (2007), Justus Liebig (1803-1873), Friedrich Wöhler (1800-1882), Jean Dumas (1800-1884) e August Laurent (1808-1853). Além desses nomes, destacou-se a pesquisa de Edward Frankland (1825-1899), responsável pela identificação das regularidades nas combinações dos metais com radicais orgânicos, primazia nos estudos de organometálicos.

Em meados do século XIX, conforme Nogueira e Porto (2019a), já havia a necessidade de estudos sobre a estrutura da matéria. Dessa maneira, cresceram os estudos sobre a atomicidade, compreendida na época como uma afinidade entre

dois elementos. Como exemplos, os trabalhos de Friedrich August Kekulé (1829-1896), Alexander Butlerov (1828-1886), Frankland, Archibald Couper (1831-1892), Alfred Werner (1866-1919), entre outros até o início do século XX. Contudo, no século XX a valência teve influências de novas teorias atômicas, como a de Gilbert Lewis (1875-1946) e após, da teoria quântica. No entanto, muitos outros nomes também participaram dessa construção, sendo caracterizada como uma contribuição de muitos autores.

Nogueira e Porto (2019a) mencionam que Frankland trabalhou na sumarização da concepção a respeito da noção de valência, presente no discurso de seus contemporâneos no final do século XIX. De mesma forma, Kekulé (1829-1896) apresentou concepções que convergiram para o conceito de valência ao estudar os compostos de carbono e defender a ‘tetra-atomicidade’ (tetra-valência) do carbono.

Pauling (1992) cita ainda, que grandes contribuições para ligação química foram realizadas por químicos do século XIX, tais como Berzelius, Butlerov, Frankland, Couper, Kekulé etc. Além destes, Gilbert Lewis e Irving Langmuir fizeram também grandes contribuições durante o período de 1916 e 1920.

Da epistemologia fleckiana identificamos além do caráter coletivo da pesquisa científica, com apresentação de vários nomes que trabalharam para compreensão da noção de valência, a história-evolutiva em torno do conceito de valência. Nesta, houve ideias mais ou menos confusas, até que se consolidasse o conceito de valência. À luz da epistemologia de Fleck, percebemos, portanto, o conceito de Protoideia. Como exemplo, a evolução do conceito de valência esteve relacionada ao estudo da ligação química, periodicidade e estrutura química (NOGUEIRA; PORTO, 2019b). Alguns conceitos sobre a noção de valência sofreram embates entre cientistas, em outros casos concordância, até que se formulasse um entendimento mais científico, característico de uma ‘Protoideia’.

Ao longo da trajetória de construção e modificação do conceito de valência, é possível observar sua transformação de um conceito que visava explicar a estrutura química de compostos orgânicos para um conceito que atualmente é usado para descrever as ligações químicas, tanto em moléculas orgânicas quanto inorgânicas (NOGUEIRA; PORTO, 2019a, p. 118).

A noção de valência representou uma tentativa humana de compreender como a natureza organiza e transforma seus constituintes. Tais características

fazem com que alguns átomos apresentem determinadas atitudes químicas. O conceito de valência, no início do século XIX, estava relacionado com uma capacidade de 'força' ou poder de combinação. As bases de pesquisa eram especialmente empíricas, com fórmulas experimentais, tendo suas origens nos estudos da Química Orgânica. Neste período, não se conhecia a existência do elétron e se seguia a teoria atômica de Dalton, na qual o átomo era a menor partícula da matéria. Após a existência do elétron, considerando então as subdivisões atômicas a partir da teoria atômica de Thomson, o elétron esteve relacionado à valência e posteriormente, à ligação química. Por uma análise fleckiana, consideramos que as concepções sobre valência, nestes casos, passaram por dois 'Estilos de Pensamento', um antes da existência do elétron e um após este. Nesse sentido, Gilbert N. Lewis formulou explicações para a valência tendo como base o 'Estilo de Pensamento' que dava relevância para a presença do elétron.

Vale ressaltar que as pré-ideias, segundo Fleck (2010) passaram por mutações (transformações) de Estilo de Pensamento, mas não por erros. Dessa maneira, as teorias científicas evoluem e se transformam, assim como os fatos científicos. Aquelas passam por um longo processo de evolução social, histórica e linguística. Neste aspecto, mais uma vez, Fleck se contrapõe ao positivismo lógico, o qual entende o fato como fixo, objetivo e absoluto (CONDÉ, 2018).

Ou seja, o fato científico para Fleck (2010) não é algo dado, mas representa uma construção da comunidade científica num processo de interações sociais que se dá no tempo, sendo percebido no interior de um Estilo de Pensamento. Dessa maneira, o desenvolvimento do conhecimento científico evolui de um modelo para outro como um processo de interações entrecruzadas dentro do pensamento coletivo (CONDÉ, 2005).

Assim, tendo como base a epistemologia fleckiana em que o processo de construção de determinado conhecimento científico se dá por meio de uma histórica evolutiva, podendo haver a presença de Protoideias, as quais moldam o Estilo de Pensamento, a seguir são apresentadas a evolução do conceito de valência, bem como a evolução das teorias atômicas.

### 3.2.1 A evolução do conceito de valência

As explicações sobre valência passaram por evoluções em seu conceito, sendo interpretada de forma distinta por diferentes ‘Estilos de Pensamento’, porém sua essência nunca foi completamente abandonada. Tal conceito sempre teve explicações compatíveis de acordo com o estado do conhecimento da teoria atômica vigente. Como exemplo, na época da teoria atômica de Dalton, início do século XIX, a noção de valência estava relacionada como força ou poder de combinação dos átomos. Dessa maneira, Pauling comenta sobre os trabalhos de Frankland, Kekulé, Couper etc., os quais se sabia sobre arranjo e combinação dos átomos, mas não se conhecia sua natureza. Quando surgiu a ideia de elétron, proposta por Thomson, ao final do século XIX, a valência começou a estar associada às quantidades de elétrons capazes de unir os átomos. Entre os modelos propostos para a ligação, estava a ideia de Lewis, a respeito do par de elétrons compartilhado (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954). Portanto, à luz da epistemologia fleckiana, a valência sofreu mudanças quanto ao seu estado do conhecimento, representando uma Protoideia para a Ligação Química.

O conceito sobre valência e ligação sempre instigou Linus Pauling a tal ponto de se tornar seu problema de pesquisa, uma vez que simbolizava seu ‘Estilo de Pensar’. O termo ‘valência’ era utilizado por Pauling como sinônimo de ligação, possivelmente por influência da fundamentação dada à valência por Gilbert N. Lewis.

O conceito da ligação química é o conceito mais valioso na Química. Seu desenvolvimento nos últimos 150 anos foi um dos maiores triunfos do intelecto humano. Duvido que exista um químico (ou uma química) no mundo que não a use em seu pensamento. Grande parte da ciência moderna e tecnologia se desenvolveu devido à existência desse conceito (PAULING, 1992, p. 3, parênteses adicionados), [tradução nossa].

No contexto do século XIX, de acordo com Nascimento (2008), era objetivo dos químicos se chegar na composição elementar de várias substâncias diferentes, desse modo a classificação por tipos<sup>19</sup> teve grande papel no desenvolvimento do conceito de estrutura molecular. Nesta, foi observado que um certo átomo se liga ou coordena outros átomos ou grupo de átomos. Aos poucos a busca por uma

---

<sup>19</sup> Teoria científica que influenciou as origens da noção de valência. Surgiu por volta de 1839 com Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) em estudos de reações de substituição orgânica, os quais originaram os conceitos de tipos mecânicos e químicos. Estes conceitos compreendiam agrupamentos de átomos que se uniam para formar substâncias. O interesse da teoria de tipos concentrava na composição das moléculas e na sua reatividade (NOGUEIRA; PORTO, 2019a).

classificação geral levou o Coletivo de Pensamento de químicos a pensar em um arranjo interno dos átomos de uma substância. Por meio da epistemologia fleckiana, percebemos que a 'teoria dos tipos' representou uma Protoideia para a noção de valência.

Os estudos sobre o conceito de valência proporcionaram compreensões a respeito das fórmulas estruturais, bem como a caracterização dos produtos de reações químicas. Paralelamente ao desenvolvimento da noção de valência, estava sendo pesquisado sobre a pilha, a eletroquímica, a teoria atômica de Dalton. Ou seja, nesse período o elétron ainda não era o protagonista das ligações químicas (NOGUEIRA; PORTO, 2019a), (ARAUJO NETO, 2007).

Nos estudos que antecederam a noção de valência, existiam dois Estilos de Pensamento distintos entre os pesquisadores da Química Orgânica. Como exemplo, a teoria dos tipos de Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856) não foi aceita por Adolf Wilhelm Hermann Kolbe (1818-1884) e Frankland, o qual trazia a ideia de composto químico unitário. Desse modo, Frankland e Kolbe consideravam os radicais como grupos estáveis dos elementos. O próprio Frankland conduzia experimentos para confirmar a estabilidade do radical etil em transformações químicas (ARAUJO NETO, 2007).

Essa teoria (teoria dos tipos) foi amplamente aceita no âmbito da química orgânica, e levou a inúmeros estudos de fórmulas químicas e estruturais para os compostos, utilizando os tipos já conhecidos. Com base nos tipos, foi criada uma das primeiras classificações dos compostos, separando-os em séries de acordo com sua combinação e suas propriedades. Essas séries caracterizavam o que hoje chamaríamos de funções orgânicas (NOGUEIRA; PORTO, 2019a, p. 122, parênteses adicionados).

Dessa maneira, "a busca por uma fórmula estrutural para uma substância que fosse correspondente com suas propriedades levou ao conceito de valência e à ideia de que os átomos poderiam estar ligados" (NASCIMENTO, 2008, p. 246).

De acordo com Camel, Koehler e Filgueiras (2009), a ideia de valência era equivalente a capacidade de combinação, ou força de combinação, lembrando uma antiga ideia de afinidade química. Assim, a valência se relacionava com a capacidade de combinação dos elementos. Por exemplo, o enxofre e o oxigênio possuíam capacidade de combinação duas vezes maior que o hidrogênio, nitrogênio por sua vez, possuía combinação três vezes maior e o silício ou carbono, quatro

vezes mais que o hidrogênio e o cloro. Ou seja, a valência era expressa pela sua atomicidade, denominada como mono, di, tri e tetra atômico.

Desse modo, o conceito de valência estava relacionado a capacidade de 'força', na qual o elemento possuía uma habilidade para rearranjar outros elementos em uma transformação química. A ligação química, por sua vez, era entendida como um efeito resultante dessa força (ARAUJO NETO, 2007).

A estrutura molecular possibilitava conhecer como os átomos se conectavam dentro da sua estrutura química, no entanto não se conhecia a natureza das forças que mantinham os átomos na ligação (NASCIMENTO, 2008).

Em relação ao desenvolvimento da Teoria Eletrônica de Valência, Pauling comenta que Frankland, em 1852, considerou que os átomos tinham um poder de combinação definido que determinava as fórmulas estruturais. Além deste, Pauling menciona que Couper, em 1858, escreveu as primeiras fórmulas estruturais. E por fim, Kekulé, em 1858, realizou vários estudos sobre o carbono e desenvolveu a química orgânica por meio das cadeias de carbono (NOGUEIRA; PORTO, 2019b).

Nas reações propostas experimentalmente, Frankland utilizava como reagente o iodeto de etila ( $C_2H_5I_{(l)}$ ) e zinco metálico ( $Zn_{(s)}$ ), obtendo iodeto de zinco ( $ZnI_{2(s)}$ ) e butano ( $C_4H_{10(g)}$ ) como produtos esperados. O butano era chamado de 'radical livre'. No entanto, dependendo da relação estequiométrica de partida formava-se o etil zinco, produto inesperado. "O produto inesperado etil zinco foi precursor da classe dos compostos organometálicos e a primeira pista para Frankland passar a confiar numa regularidade de capacidade de combinação de alguns elementos" (ARAUJO NETO, 2007, p. 15).

A favor de Frankland, estavam as leis das proporções múltiplas e das proporções constantes, que carregavam a implicação de que a capacidade dos átomos de se combinarem deveria ser exata e limitada. Os argumentos de Frankland se baseavam em um conjunto restrito de regularidade e ele se recusava a constituir uma teoria a respeito. Isso favoreceu a apresentação de diversos contra exemplos, que decorriam da confusão que atormentava as fórmulas empíricas, em função da ausência de uma demarcação clara entre os átomos e os equivalentes químicos. Esses exemplos e o fato de que a capacidade de combinação de um elemento podia variar minaram a ampla aceitação das ideias de Frankland (ARAUJO NETO, 2007, p. 15).

De acordo com Araujo Neto (2007), uma teorização para a noção de valência apenas seria possível após determinações de fórmulas empíricas, tanto de compostos orgânicos como inorgânicos, e fundamentação do conceito de átomo e

molécula. No entanto, Frankland não foi capaz de formular uma hipótese sobre a regularidade na combinação dos radicais orgânicos com metais. Contudo, sua contribuição sobre a capacidade de combinação dos elementos chamou atenção para a atomicidade, pois seguia uma ordem nas transformações dos materiais.

Segundo Nogueira e Porto (2019a), as primeiras ideias sobre valência simbolizavam a ligação química. Em meados do século XIX, quando ainda não se sabia sobre os elétrons, a valência remetia a ideia de afinidade química, a qual explicava como os elementos se uniam. No trabalho de Frankland por exemplo, o número de valência representava o número de ligações químicas.

A respeito das contribuições de Frankland, Linus Pauling menciona sobre o poder de combinação que descrevia a junção dos átomos e levava em consideração o átomo de Dalton. Nesse aspecto, existia a ideia de combinação por proporção, no entanto não se sabia por que os átomos seguiam determinadas proporções (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

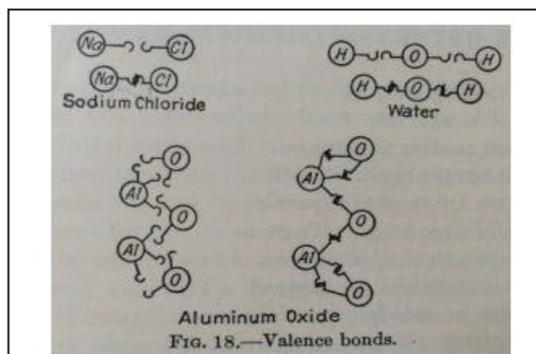
Isso descreveu uma ligação, mas explicou muito pouco. Pelo menos, levou em conta as ideias seculares do grande químico inglês John Dalton, que no início do século XIX teorizava que os átomos- que vinham em tamanhos distintos, chamados elementos- combinavam-se com outros átomos em simples proporções de números inteiros para formar moléculas maiores. Como se sabe hoje, dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio se juntam para formar água, quatro hidrogênios e um carbono formam metano, e assim por diante. A capacidade de combinação do elemento ou “valência” - seu número de garras e olhos- foi definida de alguma forma por natureza. Mas ninguém sabia por que elementos combinavam apenas nessas proporções<sup>20</sup> (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, p. 4), [tradução nossa].

De acordo com Pauling (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954), a valência em meados do século XIX era representada como gancho. Dessa maneira, na ligação de valência haveria os engates entre os ganchos, como estão mostradas na FIGURA 1.

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DA 'LIGAÇÃO DE VALÊNCIA' COMO ENGATES ENTRE OS GANCHOS DOS ELEMENTOS

---

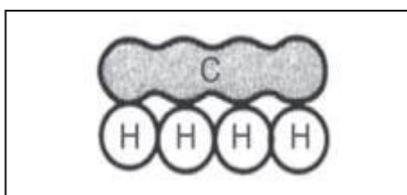
<sup>20</sup> Narrativa: Garras e olhos. **Linus Pauling: The Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/narrative/page4.html>. Acesso em: 29 jan. 2020.



FONTE: NOGUEIRA; PORTO (2019b, p. 243).

A partir dessas contribuições, conforme Araujo Neto (2007), em 1850 Kekulé inicia uma idealização daquilo que viria a ser uma teoria estrutural para a química orgânica, pois crescia a quantidade de substâncias orgânicas que começavam a ser conhecidas. Como exemplo, na molécula de metano Kekulé relaciona o tamanho da representação para cada átomo de acordo com a sua valência. Assim, o tamanho do átomo de carbono sugere a tetravalência. Já o átomo de hidrogênio foi chamado de monovalente por realizar apenas uma combinação. Tais representações de valência estão mostradas na FIGURA 2.

FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DAS VALÊNCIAS NA MOLÉCULA DE METANO ( $\text{CH}_4$ )

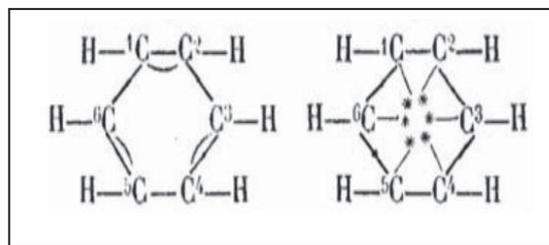


FONTE: ARAUJO NETO (2007), NOGUEIRA; PORTO (2019a).

Desse modo, Kekulé propôs a tetravalência do carbono sustentada por numerosos exemplos de compostos e de reações. O benzeno, por exemplo, foi a primeira representação simbólica a não utilizar caracteres alfabéticos. Era conhecida a fórmula empírica do benzeno:  $\text{C}_6\text{H}_6$ , sendo uma substância altamente estável e livre de combinações químicas. Entretanto, havia a dúvida de como apenas seis átomos de hidrogênio poderiam estar associados a seis átomos de carbono. A solução apresentada por Kekulé foi a cadeia cíclica, na qual cada átomo de carbono estaria ligado entre si, formando um hexágono. E então, cada átomo de hidrogênio estaria associado a um átomo de carbono. Contudo, houve debates sobre como estaria situada a quarta valência de cada carbono nesse ciclo, já que duas valências

ocorriam entre os carbonos e a terceira seria completada com o átomo de hidrogênio. Kekulé propôs a dupla alternada entre os carbonos e Julius Lothar Meyer (1830-1895) discutiu, no ano de 1872, a afinidade livre para cada átomo de carbono. Essa discussão se estendeu por cerca de trinta anos. Uma representação sobre a quarta valência de cada átomo de carbono, presente no benzeno, é apresentada na FIGURA 3.

FIGURA 3 – A QUARTA VALÊNCIA DO CARBONO: DUPLAS ALTERNADAS A ESQUERDA (POR KEKULÉ) E AFINIDADE LIVRE A DIREITA (POR MEYER)



FONTE: ARAUJO NETO (2007).

Muitos outros cientistas debateram e contribuíram para que a teoria de tetravalência do carbono e a estrutura para o benzeno fossem aceitas dentro da comunidade científica. Por exemplo, Couper utilizou o conceito de afinidade eletiva ao propor a valência variável para os elementos, enquanto Kekulé a considerava como constante. No entanto, ambos propuseram a tetravalência do carbono e a formação de cadeia carbônica, fortalecendo a teoria estrutural. De acordo com Simões (2008), Pauling contribuiu para encerrar as dúvidas sobre a estrutura do benzeno ao propor a ideia de ressonância, após dois artigos publicados sobre a 'Natureza da Ligação Química', nos anos de 1931 e 1933. Nesse sentido, Pauling trazia a ideia de que a química não poderia depender de aparatos matemáticos, mas sim de noções estruturais tradicionais, tais como as ligações químicas. A ideia de ressonância, portanto, foi introduzida como uma concretização de antigas noções estruturais. Em termos fleckianos, tal fato acrescenta o quanto a ciência é um esforço dos seres humanos, pois a noção de valência emergiu de situações controversas e disputadas, responsáveis pelo fortalecimento enquanto teoria científica e influenciadoras na construção do conhecimento sobre a estrutura e ligação química, inclusive à época de Linus Pauling.

Todavia, ainda que a estrutura de benzeno tenha sido aceita pela comunidade científica como um híbrido de ressonância, não significa que este estado do conhecimento tenha sido finalizado. Já que a ciência passa por processos gradativos de mudanças no Estilo de Pensamento. Pesquisas recentes, como a de Schmidt et al. (2020), demonstram outras possibilidades para a estrutura fundamental na deslocalização dos elétrons no anel benzênico<sup>21</sup>.

Na videoaula V3, ministrada em 1957, Linus Pauling anuncia que o desenvolvimento da química durante os cem anos anteriores, a referida data, foi resultado da construção da teoria da estrutura química. Sobre os cientistas Frankland, Couper e Kekulé, Pauling considera que estes contribuíram para o desenvolvimento das fórmulas estruturais das substâncias e demais propriedades associadas (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Há cerca de 100 anos, os cientistas Frankland, Kekulé e Couper fizeram suas contribuições, originando a ideia da ligação e da valência química. Já era conhecida (cem anos antes) substâncias como o sal, NaCl, HF (fluoreto de hidrogênio), água (H<sub>2</sub>O), amônia (NH<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>). Sugeriu-se que existem ligações, as quais mantêm os átomos juntos. Na para Cl (sódio para cloro), H para F (hidrogênio para flúor); na água, H para O e outra ligação OH; com amônia NH, NH, NH; e com metano, CH, CH, H, H. Hidrogênio e flúor, sódio e cloro, são ditos monovalentes, possuem valência um. Na molécula de água, o oxigênio é bivalente; pode formar duas ligações químicas. O nitrogênio é trivalente, carbono é tetravalente<sup>22</sup> (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado), [tradução nossa].

Na perspectiva de Pauling, para descrever as ligações de valência, os químicos aprenderam a desenhar as estruturas moleculares, constituindo assim a fórmula estrutural de uma substância. Contudo, a ideia de valência ainda permanecia vaga e, por volta de 1916 foi considerada uma teoria insatisfatória entre a comunidade científica. Este conceito de valência foi então substituído por vários conceitos mais precisos, como a valência iônica, o conceito de covalência, bem como o conceito de valência metálica. No entanto, conforme Pauling, em Oregon State University (1925-1954), para compreender cada valência é necessário conhecer a estrutura eletrônica dos átomos. Ou seja, Pauling sugere que houve separação dos tipos de ligação química em valência iônica, covalência e valência

---

<sup>21</sup> Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15039-9>>. Acesso em: 14 abril 2020.

<sup>22</sup> Vídeo: Aula 1, parte 3. 1957. **Linus Pauling: The Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/narrative/page3.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

metálica. Estas viriam a ser denominadas ligação iônica, ligação covalente e ligação metálica, sendo o termo valência equivalente à ligação. Outro ponto relevante para Pauling é a necessidade de compreensão da estrutura atômica para se ter clareza sobre a valência em cada átomo. A seguir, Pauling explica os fundamentos da valência iônica, aplicando-a na formação do fluoreto de lítio (LiF).

Por meio do sistema periódico dos elementos, na valência iônica, os elementos são organizados em ordem de seus números atômicos. O hidrogênio, o átomo mais simples, consiste em um núcleo com carga elétrica de uma unidade eletrônica (+1) e um único elétron fora do núcleo. O hélio possui dois elétrons fora do núcleo com carga +2. O lítio tem três elétrons fora de um núcleo com carga +3, e assim por diante. Neônio possui dez elétrons ao redor de um núcleo com carga +10. Por sua vez, estruturas eletrônicas caracterizadas com dois elétrons, como o hélio, e com dez elétrons, como o neônio, são especialmente estáveis. Assim, hélio e neônio não formam compostos químicos do tipo comum. Por este mesmo motivo, o hidrogênio, o lítio e outros elementos formam compostos químicos. O terceiro elétron no lítio é mantido apenas vagamente pelo átomo. É fácil retirar esse elétron do átomo de lítio. Além disso, o flúor, com nove elétrons tem uma afinidade considerável por um elétron adicional, podendo pegar um elétron. Como resultado, se o metal de lítio e flúor se juntam, a estrutura de ambos é a seguinte: o lítio perdeu um elétron, torna-se o íon de lítio com o mesmo número de elétrons que o hélio. O flúor ganhou um elétron e se tornou o íon flúor com o mesmo número de elétrons que o neônio. Logo, há atração eletrostática entre estes íons de carga elétrica oposta. [...] Esta ligação é caracterizada como uma forte atração elétrica entre os íons lítio e flúor<sup>23</sup> (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado), [tradução nossa].

No trecho acima, Pauling esclarece como os átomos de lítio e flúor se unem para formar uma ligação (ligação iônica). O átomo de lítio possui facilidade em perder um elétron na camada de valência, enquanto o flúor, com nove elétrons, tem afinidade por um elétron a mais, permanecendo com o mesmo número de elétrons que o Neônio (Ne). Assim, os átomos de lítio e flúor se unem por atração elétrica uma vez que se tornam íons de cargas opostas ao perder ou receber elétrons, respectivamente. Este exemplo, reflete uma compreensão conceituada sobre a teoria de valência que tanto se discutia no início do século XX, após a existência do elétron (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Lewis (1923) revela que o problema de pesquisa dos químicos, no início do século XX, era compreender como dois ou mais átomos se combinam para formar as estruturas. Neste sentido, Lewis organizou o entendimento sobre os fundamentos

---

<sup>23</sup> Vídeo: Aula 1, parte 3. 1957. **Linus Pauling: The Nature of the Chemical Bond**. Disponível em: <<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/narrative/page3.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

da ligação química ao explicar como os átomos se unem para formar as moléculas, ainda que conceituados em somente um tipo de ligação.

De maneira resumida, se poderia dizer que a valência de um elemento seria a quantidade de elétrons em cada um de seus átomos que estariam disponíveis para serem compartilhados e formarem ligações com átomos de outros elementos químicos; e que a ligação química seria o resultado do compartilhamento de elétrons entre os átomos de dois elementos químicos, ou a combinação de seus orbitais atômicos (NOGUEIRA; PORTO, 2019a, p. 125).

Segundo Nascimento (2008), a teoria de Lewis para a ligação química explicava muito bem como poderiam ser formadas ligações simples e múltiplas, além de explicar o porquê alguns átomos apresentavam diferentes valências.

### 3.2.2 A história evolutiva da valência em Manuais

Podemos compreender na epistemologia fleckiana a importância da história evolutiva para explicar como um novo Estilo de Pensamento foi formado. Dessa maneira, uma boa indicação em Fleck (2010) para conhecer o Estilo de Pensamento é olhar para as ciências dos periódicos e as ciências dos manuais que compõem a ciência especializada, aquela formada por profissionais altamente qualificados que fazem parte do centro do círculo esotérico.

Como características, a ciência dos periódicos possui caráter provisório, incerto e pessoal. Assim, “faz parte disso a cautela específica dos trabalhos em periódicos, que pode ser reconhecida em expressões como: ‘tentei provar que...’, ‘parece ser possível que...’, ou ainda de forma negativa: ‘não se pôde comprovar que’...” (FLECK, 2010, p. 172).

Outro aspecto da ciência dos periódicos diz respeito ao caráter pessoal, no qual o pesquisador desaparece com sua pessoa ao mencionar os verbos no plural, dissimulando um coletivo ou uma falsa modéstia. A ciência dos manuais por sua vez, nasce de uma seleção de conceitos fundamentais presentes nas ciências dos periódicos, além de escolhas pelos métodos, pesquisadores com posições de destaque etc., definindo assim um diálogo do tráfego esotérico de pensamento, ou uma discussão entre especialistas. Dessa forma, a exposição do objeto de pesquisa aparece nos manuais num sistema integrado e organizado, no qual desaparece a individualidade e ressalta-se o momento normativo da ciência. Os manuais, ou livros

didáticos destinados ao Ensino Superior, tornam-se encarregados da iniciação em uma área, como uma verdadeira instituição do coletivo de pesquisadores (FLECK, 2010), (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010).

Ademais, de acordo com Schäfer e Schnelle (2010), fica mais fácil averiguar o funcionamento de um Estilo de Pensamento em uma área especializada a partir da identidade e participação de um coletivo, maneira de se trabalhar e colocação do problema de pesquisa, uso de equipamentos teóricos e aplicações experimentais.

O período de intensos estudos acerca do conceito de valência dentro da comunidade científica de químicos ocorreu entre meados do século XIX e início do século XX. Nogueira e Porto (2019b) apresentam a história evolutiva da concepção de valência tendo como base os livros didáticos de química geral dos anos de 1890 a 1940. Assim, torna-se possível conhecer quais eram as circulações de ideia sobre a valência que ocorriam entre o 'Coletivo e Estilo de Pensamento' de químicos neste período.

Nas décadas de 1890 e 1900, a valência é apresentada como um poder de combinação dos elementos, além de propriedade periódica. A valência era definida como "uma propriedade numérica e periódica dos elementos químicos". Ainda não se conhecia a natureza da valência, e seus conceitos tinham por base resultados empíricos (NOGUEIRA; PORTO, 2019 b, p. 240).

Os livros da década de 1910 também definiram a valência como poder de combinação utilizada para escrever fórmulas e reações químicas. Segundo Nogueira e Porto (2019b), tais livros trazem que Mendeleev já reconhecia a valência como uma propriedade periódica, com a ressalva de que a valência de um elemento poderia ser variável. A valência é apresentada como uma propriedade quantitativa, determinada pela fórmula da razão do peso atômico e peso equivalente do composto. Portanto, a valência de um elemento estava relacionada com a carga do respectivo íon, e da quantidade de elétrons no átomo.

Todavia, o período de 1920 é marcado por transições no entendimento sobre a valência. Estava ocorrendo nessa época, a introdução de novas teorias a respeito da estrutura eletrônica. Surgem, por exemplo, números de elétrons na camada mais externa dos átomos. Ao final da década, "os livros já incluem a distribuição eletrônica como outra propriedade periódica relacionada com a valência". E a valência recebeu como definição: um número que indicava a

quantidade de átomos com os quais um elemento pode se combinar. Compreensão que remete a expressão ‘elétrons de valência’ (NOGUEIRA; PORTO, 2019b, p. 242).

Em 1930, continua a mudança de concepção em relação ao conceito de valência, tal como acontecia na década anterior. Dessa maneira, os livros didáticos neste período, segundo Nogueira e Porto (2019b), definem a valência tanto como poder de combinação, como número de elétrons na última camada do átomo, ou ainda, como a carga do íon mais estável. O valor de valência era determinado pela análise das fórmulas dos compostos e também, pela distribuição eletrônica. Além disso, a valência estava diretamente associada com a tabela periódica, por meio da distribuição eletrônica e com os tipos de ligação química, tais como eletrovalência e covalência.

Nos anos de 1940 continua a proposição de novos termos, como ‘valência iônica’ proposta por Linus Pauling. Nesta década, a ideia de poder de combinação continua sendo usada, porém surgem termos mais precisos. Aparece pela primeira vez o termo ‘número de oxidação’, tornando-se clara a relação entre a nova expressão com o fato de a valência ser variável para um elemento químico. “O número de oxidação passa a designar as diferentes ‘valências’ possíveis de um elemento, enquanto o termo valência passa a ser atribuído apenas ao valor máximo ou mais comum observado para um dado elemento” (NOGUEIRA; PORTO, 2019b, p. 245).

Os livros didáticos nestes anos compreendem a ligação química como ganho e perda de elétrons (eletrovalência ou valência iônica, por Linus Pauling) ou compartilhamento de elétrons (covalência). De acordo com Nogueira e Porto (2019b), Pauling explica os tipos de ligação química como iônica, covalente e coordenada, e as relacionam conforme os termos eletrônicos. Desse modo, a ligação iônica é relacionada com doação de elétrons, covalente com compartilhamento de elétrons e coordenada com doação de elétrons.

Pauling usa as fórmulas de Lewis para montar as moléculas e em seguida as representa usando as fórmulas estruturais, a partir das quais discute geometria, polaridade e outras propriedades moleculares. Também discute os processos de oxidação-redução em termos de variação do número de oxidação, sendo explicados pela transferência de elétrons entre os elementos (NOGUEIRA; PORTO, 2019b, p. 245).

Ademais, Pauling cita o trabalho de Gilbert Lewis que, em 1916, explicou a valência com base nos elétrons. Após a abordagem eletrônica, o tratamento para a

valência e ligação química ocorreu por meio da química quântica. “Pauling conclui essa seção afirmando que naquele momento (anos 1940) estavam sendo realizados diversos estudos sobre a estrutura das moléculas utilizando a química quântica” (NOGUEIRA; PORTO, 2019b, p. 245). O que significa que nas décadas anteriores, a comunidade científica pesquisa sobre a estrutura das moléculas tendo por base a teoria quântica. Tais constatações no livro didático nos remete que estava ocorrendo uma transformação no pensamento científico numa época recente, como exemplo os trabalhos de Lewis, Langmuir e Pauling desenvolvidos na primeira metade do século XX.

Segundo Toma (1997), as teorias a respeito da ligação química foram inspiradas na ideia de união por par de elétrons, proposta por G. N. Lewis em 1916. Dessa forma, a ligação seria representada por dois pontos, simbolizando o par de elétrons compartilhado, colocados entre os símbolos dos elementos. E a teoria do octeto estava associada a essa representação. Assim, os elétrons estariam dispostos ao redor do núcleo de maneira a diminuir a repulsão entre eles. Estes elétrons, por sua vez, se movimentariam na disposição de um cubo. Nesse caso, o conceito de valência estaria associado à ideia de afinidade e de capacidade de combinação entre os átomos.

Na década de 1950 é consolidada a abordagem eletrônica para o termo ‘valência’. Desse modo, a distribuição eletrônica é apresentada como uma propriedade periódica dos elementos, sendo a valência associada a ela. Neste período, o número de oxidação passa a ser considerado como uma propriedade periódica, na qual o número de valência é representado com sinal positivo ou negativo, indicando a carga elétrica. Assim, “discute-se a valência em termos de variação do número de oxidação pela transferência de elétrons, caracterizando os processos de oxidação-redução, com o envolvimento dos elétrons mais internos no caso dos metais de transição” (NOGUEIRA; PORTO, 2019b, p. 247).

Conforme Toma (1997), Pauling introduziu o conceito de eletronegatividade para explicar as desigualdades eletrônicas, pois estudava os termos de energia de ligação. A ligação química apresentava três características importantes, a polaridade, a distância e a energia.

Ao se olhar para a construção do conceito de valência, numa perspectiva fleckiana, se observa contribuições de vários cientistas e um século de circulação de ideia dentro do círculo esotérico químico, para torná-la uma forma (Gestalt), uma

percepção imediata. A própria noção de valência recebeu influências anteriores, pois foi derivada principalmente da teoria dos tipos. A construção do conceito de valência sempre caminhou ao lado das concepções a respeito das teorias atômicas e foi Protoideia para a compreensão da ligação química.

Nesse sentido, a história da construção do conceito de valência nos faz refletir sobre o 'Coletivo de Pensamento', e sobretudo a respeito do 'Estilo de Pensamento', uma vez que se percebe a influência recíproca de pensamentos, por meio da comunicação intercoletiva de pensamento. Segundo Condé (2017), uma comunidade científica define sua capacidade de perceber os problemas e articular soluções, de acordo com os valores e práticas do sistema de referência, ou da própria cultura em que o 'Estilo de Pensamento' é criado.

Dessa forma, o conceito de valência faz parte da história evolutiva da Ligação Química. Ou seja, os dois conceitos são associados por meio de ligações evolutivas, como em uma linha de pensamento com ideias pré-científicas que inicialmente eram mais ou menos vagas, mas com o passar dos anos foram sendo consolidadas dentro do Estilo de Pensamento da comunidade de químicos. Em termos fleckianos, consideramos a valência como uma Protoideia para a Ligação Química.

### 3.2.3 A evolução dos modelos atômicos

Como a evolução dos conceitos de valência sempre esteve conectada à evolução dos modelos atômicos, refletimos nessa seção a evolução dos modelos atômicos que mais influenciaram para a formação do 'Estilo de Pensamento' sobre a valência e ligação química no final do século XIX e início do século XX. Nesse sentido, buscaremos conhecer sobre os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Tendo em vista que o entendimento sobre a estrutura da matéria possibilita a compreensão de como os átomos se unem, no século XIX destacaram-se nas ciências naturais os trabalhos sobre a radioatividade, raios catódicos, elétrons, valência, espectroscopia etc. Segundo Melzer e Aires (2015), na química foram notórias as pesquisas sobre a ligação química e valência e a sua estreita relação com as teorias atômicas, visto o interesse de compreensão da estrutura da matéria e formação das moléculas.

As opiniões dos cientistas sobre os átomos divergiam no início do século XIX. De um lado estavam os que acreditavam que os átomos corresponderiam à realidade da natureza. Em oposição, havia a ideia dos antiatomistas que simplesmente não acreditavam nos átomos (PEREIRA; SILVA, 2018).

As correntes filosóficas atomistas basearam-se na ideia de que o mundo físico seria constituído por minúsculas partículas de diferentes formas, tamanhos e arranjos chamados átomos. Os atomistas defendiam que as mudanças no mundo eram apenas aparentes, pois os átomos, a real essência das coisas, permaneceriam imutáveis e não seriam destruídos ou criados (PEREIRA; SILVA, 2018, p. 20).

John Dalton (1766-1844) retomou a hipótese atômica, nos anos entre 1803 a 1827, com intuito de explicar o comportamento de diversos gases e das misturas gasosas. Segundo Pereira e Silva (2018), a hipótese daltoniana trouxe um ressignificado a ideia de átomo, especialmente para os químicos neste período. Tal hipótese teve apoio de cientistas como Berzelius (1779-1848), Bryan Higgins (1741-1818), Thomas Thomson (1773-1852) e William Henry (1774-1836). “A adoção dessa postura teve impacto especialmente no campo da Química Orgânica, pois influenciou o desenvolvimento das teorias estruturais e o surgimento do conceito de valência” (PEREIRA; SILVA, 2018, p. 21).

Como atomista, Dalton acreditava que a matéria era constituída por partículas indivisíveis, esféricas e maciças. Nesta visão, os átomos de um mesmo elemento químico são iguais em tamanho, forma e massa. Do mesmo modo, os átomos de diferentes elementos químicos são diferentes também em massa e em propriedades. Para Dalton, os ‘átomos simples’ poderiam se unir para formar ‘átomos compostos’, ou o que hoje conhecemos por moléculas. Nesse sentido, numa reação química ocorreria combinação, separação e rearranjo de variados átomos, não havendo em seu percurso a criação ou destruição destes. Nesta hipótese atômica, Dalton seguia as leis da conservação e das proporções das massas, de Lavoisier (1743-1794) e de Prost (1754-1826), conhecimentos científicos já consolidados entre os cientistas no referido período (CISCATO et al., 2016, FONSECA, 2016, LISBOA et al., 2016, MORTIMER; MACHADO, 2016, NOVAIS; ANTUNES, 2016, SANTOS et al., 2016).

Para explicar as primeiras noções de valência, Berzelius (1779-1848), Frankland (1825-1899), Couper (1831-1892) etc. seguiram o modelo de Dalton.

Nesta ideia, as unidades de valência de um elemento químico se combinavam para formar os constituintes, preservando-se as suas quantidades nesse processo de transformação. O conceito de valência na época de Dalton era compreendido como uma força inata, um poder, uma atitude química de combinação de um átomo a outro (ARAUJO NETO, 2007, NOGUEIRA; PORTO, 2019a).

Ao final do século XIX, com o desenvolvimento da eletricidade e a partir da 'descoberta' do elétron, bem como da radioatividade, a ideia do átomo de Dalton de ser indivisível e a menor partícula da matéria foi refutada. Joseph John Thomson (1856-1940), físico experimental e inglês, esteve à frente do laboratório de Cavendish, estudando tubos de raios catódicos, assim como Wilhelm C. Röntgen (1845-1923). Com o interesse pela natureza da luz, juntamente com os estudos sobre a eletricidade, tais cientistas comprovaram a existência do átomo por meio de uma carga negativa, posteriormente chamada de elétron. O nome elétron foi sugerido em 1894 para designar os raios catódicos por G. J. Stoney (1826-1911) e foi adotado no meio científico (MORTIMER; MACHADO, 2016, MELZER; AIRES, 2015).

Em 1897, J. J. Thomson comprovou a natureza corpuscular dos raios catódicos, isto é, o fato de serem partículas. Ele mediu não só a velocidade das partículas, mas também a relação entre sua carga e sua massa. Ao mesmo tempo, demonstrou que essas partículas eram as mesmas, qualquer que fosse a composição do catodo, do anticatodo (ou anodo) ou dos gases que estivessem dentro do tubo. Isso mostrava que os raios catódicos eram, na verdade, um componente universal de toda a matéria (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 142).

As principais características do átomo de Thomson foram o fato de 1) serem esféricos, sendo o volume total do átomo igual ao volume da esfera; 2) a carga positiva estar uniformemente distribuída na esfera; 3) os elétrons se movem nessa esfera sob o efeito das forças eletrostáticas. Ou seja, os elétrons, corpúsculos de carga negativa, estariam incrustados na esfera positiva tanto por dentro como na sua superfície (SANTOS et al., 2016).

Segundo Ciscato et al. (2016), Fonseca (2016), Lisboa et al. (2016) e Novais e Antunes (2016), Thomson propôs a existência de carga positiva no átomo, uma vez que os corpos tenderiam a ser eletricamente neutros e com a existência do elétron de carga negativa, também ocorreria a presença da carga positiva. Desse modo, a partir da natureza elétrica do átomo, poderia ser removida ou acrescentada

partículas (ou elétrons). Nesse sentido, o átomo na concepção de Thomson é divisível comparando ao modelo de Dalton.

O químico que mais seguiu a teoria atômica de Thomson foi Gilbert N. Lewis, uma vez que este introduziu a noção de 'elétrons de valência' para explicar como os elétrons de cada átomo participariam da ligação. Ou seja, no átomo cúbico de Lewis o elétron tem papel protagonista, assim como no átomo de Thomson (LEWIS, 1916, LEWIS, 1923).

Como comprovação da teoria atômica de Thomson, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) propôs um experimento aos seus alunos, Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), os quais utilizavam feixes de partícula alfa( $\alpha$ ) em um anteparo contendo uma lâmina fina de alguns metais (estanho, chumbo, cobre, ouro etc.). Rutherford foi orientado de Thomson e tinha como objetivo de pesquisa observar o espalhamento de partículas alfa e beta pela matéria, bem como a estrutura do átomo (MORTIMER; MACHADO, 2016, LOPES, 2009).

De acordo com Marques e Caluzi (2009), os alunos de Rutherford, Geiger e Marsden, utilizaram o bombardeamento de partículas alfas porque estas eram consideradas pequenas, atingiam alta velocidade e poderiam “desvendar” a estrutura atômica dos metais quando utilizados como pequenos projéteis. E mais, ambos cientistas utilizavam diversos metais, porém o mais usado foi a folha de ouro.

Neste experimento, esperava-se que as partículas alfas( $\alpha$ ) batessem no anteparo e sofressem pouco desvio já que no átomo, com base no modelo de Thomson, a carga positiva estaria uniformemente distribuída por toda a esfera atômica. No entanto, o comportamento de tais partículas não saíram como previsto. O resultado obtido no experimento, de acordo com Lopes (2009), indicava que a maioria das partículas atravessava as lâminas e uma pequena quantidade de partículas alfas( $\alpha$ ) sofriam desvios com ângulos maiores que o esperado, podendo atingir  $90^\circ$  e, ainda, algumas eram refletidas (como se fossem ricocheteadas). Dessa maneira, Rutherford pensou numa estrutura atômica que explicasse por que algumas partículas alfas( $\alpha$ ) voltavam.

Desse modo, Marques e Caluzi (2009) apresentam uma explicação dada por Rutherford em uma publicação no ano de 1911. Nesta, Rutherford supõem que o átomo consiste de uma carga central concentrada em um determinado ponto e ainda, os desvios das partículas alfas e betas ocorreriam por causa dessa passagem

perto do campo central. No entanto, a palavra “núcleo” não é mencionada e sim, uma carga central capaz de repelir a partícula alfa mais que a beta.

Outro ponto relevante é que Rutherford não menciona em específico a teoria planetária do átomo. Contudo, Rutherford cita o trabalho do físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) que propôs um modelo planetário do átomo, o qual denominou de sistema saturniano. Em tal suposição, Nagaoka considera uma massa central rodeada por anéis de elétrons giratórios, sendo considerado estável se as forças de atração fossem grandes. Por sua vez, Rutherford não define se a carga central do átomo era positiva ou negativa, apenas supõem como positiva por conveniência, lançando-se assim uma hipótese (MARQUES; CALUZI, 2009).

Talvez, as considerações para a carga central ser positiva pode ter ocorrido pelo fato de as partículas betas terem a velocidade reduzida e serem absorvidas quando se chocavam ao anteparo que continha o metal. Desse modo, se a carga central fosse positiva, as partículas alfas, carregadas positivamente, seriam repelidas desse centro e assim, adquiririam velocidade de modo a atravessar o campo elétrico. Por conselho de Rutherford, Geiger e Marsden priorizaram, nos anos de 1913, investigar sobre a “variação do espelhamento com o ângulo”, por meio do experimento que ganhou repercussão nos Livros Didáticos (MARQUES; CARLUZI, 2009, p. 9).

Nas explicações dos Livros Didáticos<sup>24</sup>, Rutherford propôs um modelo para o átomo, o qual seria composto por imensos espaços vazios, e ao centro existiria um núcleo muito pequeno e denso, contendo carga positiva, uma vez que as partículas alfas ‘positivas’ foram repelidas ao passar perto do núcleo. Assim, haveriam duas regiões no átomo: o núcleo constituído por partículas positivas (e nêutrons), e a eletrosfera, constituídas pelos elétrons de carga negativa, pois seria necessário equilibrar a carga positiva presente no núcleo (CISCATO et al., 2016, FONSECA, 2016, LISBOA et al., 2016, MORTIMER; MACHADO, 2016, NOVAIS; ANTUNES, 2016, SANTOS et al., 2016).

A principal representação do modelo de Rutherford, proposta nos Livros Didáticos, traz este como análogo ao sistema solar, na qual os planetas orbitam ao

---

<sup>24</sup> Vale ressaltar que nos Livros Didáticos, aqueles destinados ao Ensino Médio, a linguagem utilizada possui uma característica mais direta visando o ensino e aprendizagem dos conceitos científicos. Além disso, o conhecimento científico é apresentado com mais certezas, com Estilos de Pensamento mais bem definidos.

redor do Sol. No caso da estrutura atômica, os elétrons orbitariam ao redor do núcleo, sendo que neste estaria presente toda a massa do átomo (MORTIMER; MACHADO, 2016).

Rutherford prosseguiu suas investigações no campo da radioatividade, sendo responsável direta ou indiretamente pelas descobertas das partículas constituintes do núcleo (prótons e nêutrons), deixando sua marca na história do átomo clássico (LOPES, 2009, p. 93).

O cientista que mais se aproximou do átomo de Rutherford como base para explicar a ligação química foi Kossel (1888-1956), físico-químico, orientando de Arnold Sommerfeld. Kossel representou os elétrons disponíveis para a ligação distribuídos em camadas concêntricas, contendo um núcleo positivo ao meio (LEWIS, 1923). Embora no seu átomo, estas camadas eram esféricas e não elípticas como as órbitas dos planetas no sistema solar, possivelmente uma tendência ao átomo de Bohr.

No átomo de Rutherford, o elétron orbitava ao redor da carga central, contudo tenderia a perder aceleração com o passar do tempo e assim, espiralar para o centro. Desse modo, desde 1911 quando houve a publicação do artigo de Rutherford, Niels Henrik David Bohr (1885-1962) trabalhou para explicar a instabilidade daquele modelo. As publicações de Bohr a respeito do modelo atômico ocorreram em três partes no ano de 1913, nos meses de julho, setembro e novembro. Segundo Lopes (2009), tais publicações tiveram grande impacto no Coletivo de Pensamento de físicos no início do século XX. Nesse sentido, Niels Bohr buscou responder aos seguintes questionamentos: Por que o átomo não colapsa? Por que havia tanto espaços vazios?

Conforme Greenberg (2009), Niels Bohr postulou em 1913 o modelo planetário circular do átomo na tentativa de explicar a trajetória do elétron dentro do átomo. As explicações desse modelo se baseavam na teoria quântica de Planck<sup>25</sup> em conjunto com o espectro de linhas (visível, ultravioleta, infravermelho) do

---

<sup>25</sup> Planck formulou a equação  $E = nh\nu$ , na qual  $h$  foi denominada como constante de Planck. Tal fórmula explicou o espectro de emissão do corpo negro e pode ser utilizada para determinação da energia de um fóton, também conhecida como quantum. A data de 19 de dezembro de 1900 marca o início da física quântica, com a entrega do artigo final de Planck a Sociedade Física de Berlim. O valor da constante proposta por Planck foi  $6,53 \cdot 10^{-34}$  J.s. "O valor atualmente aceito para esta constante é de  $6,6262 \cdot 10^{-34}$  J.s, fato que atesta o esmero e o cuidado nas primeiras determinações dessa constante" (HOLLAUER, 2008, p.9).

hidrogênio. De acordo com a física clássica, os elétrons necessitariam espiralar em direção ao núcleo, visto que elétrons negativos orbitavam ao redor do núcleo carregado positivamente. Nesse sentido, Bohr postulou que os elétrons poderiam ter somente certas energias discretas, os quais ocupariam somente órbitas circulares e não valores 'entre elas'. Assim, os postulados de Bohr explicam que o elétron no átomo de hidrogênio ocuparia níveis de energia bem determinados, correspondendo a números inteiros ( $n = 1, n = 2, n = 3, \dots$ ). Nesse sentido, a energia do elétron é quantizada, podendo apresentar determinados valores discretos.

Quando fornecemos energia ao átomo de hidrogênio, os elétrons podem saltar para níveis de maior energia. Ao retornarem ao estado fundamental, eles emitirão essa energia. Segundo o modelo de Bohr, só são possíveis certos níveis, correspondentes ao estado estacionário: assim, a radiação emitida tem frequência bem característica, constituindo o espectro de linhas (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 165).

O modelo atômico de Bohr teve apoio do laboratório de Rutherford, recebendo referência de Ernest Marsden (aluno e pesquisador do experimento de Rutherford), ao utilizar os cálculos de Bohr sobre a constante de Planck. Conforme Lopes (2009), foram 19 citações no período de um ano após publicações dos artigos e 33 citações nos dois anos seguintes. Além do apoio de Rutherford e outros cientistas na Inglaterra, Alemanha, Holanda, incluindo Arnold Sommerfeld, Bohr também recebeu críticas de opositores ao seu modelo atômico como de J. J. Thomson e de John William Nicholson (1881-1955).

Nicholson criticou o modelo atômico de Bohr porque neste não poderia haver mais que um elétron no átomo, estando restrito apenas aos átomos de hidrogênio (H) e hélio (He). E J. J. Thomson, por sua vez, preferia o átomo ondulatório ao átomo semimecânico de Bohr, com explicações superficiais (LOPES, 2009).

Nesse sentido, o modelo de Bohr explicava o átomo de hidrogênio e o íon de hélio ( $\text{He}^+$ ), porém falhava nos demais átomos. Desse modo, Arnold Sommerfeld propôs que as órbitas poderiam ser tanto elípticas quanto circulares, tal como apontado por Bohr. As suposições de Sommerfeld explicavam os átomos de hidrogênio, íons hélios e outros. Mesmo com apoio de Sommerfeld para sustentar o átomo de Bohr, havia a dúvida entre a comunidade científica: "Se um elétron está proibido de existir entre órbitas, como ele passa de uma órbita para a seguinte?" (GREENBERG, 2009, p. 333).

As características mais relevantes para cada modelo atômico estão apresentadas no QUADRO 3.

QUADRO 3 – CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES DE CADA TEORIA ATÔMICA

<b>Teoria Atômica</b>	<b>Principal contribuição para o 'Estado do conhecimento'</b>	<b>Aspectos principais</b>	<b>Quais são as partículas?</b>	<b>A quem influenciou no 'Estilo de Pensamento'?</b>
Dalton	Explicou a estrutura da matéria a partir da hipótese do átomo.	Átomo esférico, indivisível e maciço. Explicava os rearranjos, separações e combinações dos átomos.	Representa a menor partícula da matéria	Berzelius, Frankland, Couper etc.
Thomson	Confirmou a existência do átomo e composto por partículas menores, como o elétron.	Átomo esférico, maciço, porém divisível com corpúsculos de carga negativa incrustados na carga positiva uniformemente distribuída pela esfera atômica.	Carga negativa (elétron) e carga positiva preenchendo todo o átomo.	Gilbert N. Lewis
Rutherford	O átomo de Thomson era incompatível com o experimento de Rutherford.	Átomo com espaços vazios, contendo um núcleo pequeno positivo e uma eletrosfera onde os elétrons orbitam ao redor deste núcleo.	Elétron; Próton; Nêutron (sem carga, mas com massa).	Kossel e Irving Langmuir
Bohr	Explicou os níveis de energia e a estabilidade do elétron no átomo de Rutherford.	Explicou a energia quantizada devido aos saltos do elétron de um nível para outro.	Elétron, próton, nêutron, níveis de energia.	Linus Pauling

FONTE: AS AUTORAS (2020).

Ao publicar diversos artigos em 1919, Irving Langmuir mostrou não apenas estar refinando as ideias de Gilbert Lewis, ao expandir as possibilidades de arranjos para átomos mais pesados, mas também propor uma compreensão para a ligação química compatíveis aos átomos de Rutherford e Bohr. Nesta, os elétrons estariam arranjados em camadas concêntricas em torno do núcleo, demonstrando ter recebido também influência de Kossel, e não apenas de Lewis. Mais tarde, Linus Pauling além de demonstrar influências das ideias de Lewis, Kossel e Langmuir, estuda sobre o átomo de Bohr para explicar a Natureza da Ligação Química, tomando como base a teoria quântica.

O modelo atômico quântico é entendido como um sistema constituído de um núcleo positivo em torno do qual os elétrons se movimentam. Esse modelo traz implicações para a descrição dos elétrons, que podem ser compreendidos como ondas e partículas, em decorrência da interpretação de Louis de Broglie; e não podem ter suas trajetórias definidas, de acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg (PEREIRA; SILVA, 2018, p. 23).

Segundo Pereira e Silva (2018), a teoria quântica trouxe um novo olhar para a realidade atômica da matéria, de modo que o modelo atômico quântico pode ser imaginado, mas não pode ser representado pictoricamente como ocorreu nos modelos anteriores, especialmente nos Livros Didáticos.

### 3.3 OS CONTEMPORÂNEOS DE LINUS PAULING: GILBERT N. LEWIS E IRNVING LANGMUIR

O estudo sobre a 'Natureza da Ligação Química' de Linus Pauling foi desenvolvido a partir de influências de pesquisadores anteriores. Ou, numa perspectiva fleckiana, tal estudo foi influenciado pelo Coletivo e Estilo de Pensamento a respeito da Teoria de Ligação iniciadas por Gilbert N. Lewis (1875-1946) em publicações de 1913 e 1916 e expandida por Irving Langmuir (1881-1957) em um artigo de 1919. Constituíam-se como problema de pesquisa deste Coletivo compreender quais forças mantinham os átomos juntos para formar as moléculas. Também havia o interesse em conhecer como tais forças deram às moléculas formas e qualidades particulares (OREGON UNIVERSITY STATE, 1925-1954).

Segundo Filgueiras (2016), Lewis propôs a primeira teoria de ligação química, a qual agrupava todos os tipos de ligação química em um único conceito. Nesse sentido, Lewis pensava de maneira ampla sobre como e por que os átomos se ligam para formar os compostos, possibilitando discussões para um novo Estilo de Pensamento na área da Química.

A Teoria da Ligação proposta por Lewis foi fundamentada sobre o conceito de par de elétrons. De acordo com Filgueiras (2016), Lewis antecipou ainda, a influência do par de elétrons não ligantes para a geometria da molécula.

Eu propus representar toda ligação como um par de elétrons ligados conjuntamente por dois átomos. [...] Estejamos lidando com compostos orgânicos ou inorgânicos, a ligação química é sempre o par de elétrons. Por mais importante que seja o par de elétrons para a teoria total da valência, deve-se observar que tal par não é fundamentalmente diferente de outros pares que não formam ligações (FILGUEIRAS, 2016, p. 1266-1267).

Em 1913, Lewis publicou o artigo intitulado 'Valência e Tautomerismo', com concepções que foram o centro do que iria ser discutido posteriormente. Nesse artigo, o químico adotou a nomenclatura 'número de valência' e 'número polar', os quais traziam a ideia de valência e número de oxidação, respectivamente. Assim, para Lewis "o número de valência é o número de posições, ou regiões ou pontos no átomo em que ocorre a ligação a pontos correspondentes em outros átomos. Já o número polar é o número de elétrons negativos que um átomo perdeu'." (FILGUEIRAS, 2016, p. 1264).

Todavia, é no segundo artigo de 1916 intitulado 'O átomo e a molécula' que Lewis explica duas concepções fundamentais para Teoria da Ligação. A primeira que a ligação química consiste em dois elétrons mantidos juntos por dois átomos. Neste, os elétrons na maioria dos átomos podem ser colocados nos cantos de um cubo. Às vezes, esses átomos cúbicos compartilham bordas um com o outro, representando um par de elétron. A outra concepção é sobre o caráter polar parcial da ligação que mantém os átomos unidos. Os compostos polares eram compreendidos como compostos iônicos, nos quais os elétrons estariam mantidos por forças fracas de modo que conseguiriam se mover para o átomo de origem. No entanto, nos compostos não polares os elétrons não teriam essa movimentação e não poderiam se locomover para as posições originais (FILGUEIRAS 2016), (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Além de Lewis, Irving Langmuir contribuiu para compreensão da ligação de compartilhamento de elétrons por meio de seu artigo publicado em 1919. De acordo com Gugliotti (2001), Langmuir participou da construção do conhecimento científico em relação à teoria atômica após ler dois artigos. Um dos artigos foi o de Gilbert N. Lewis e o outro foi o artigo de Walther Kossel (1888-1956), ambos publicados em 1916.

Ambos eram similares, baseados nas hipóteses de Abegg, mas a teoria de Lewis era a mais completa. Lewis imaginava um átomo estático, com elétrons arranjados em camadas cúbicas em torno do núcleo. A sua teoria, aplicável aos átomos mais leves, era conhecida como "regra dos oito" (nome este dado em função da já conhecida "regra dos dois"). Langmuir refinou e desenvolveu as ideias de Lewis, criando sua própria teoria quântica. Na teoria de Langmuir, que podia ser aplicada também aos átomos mais pesados e explicava a estabilidade dos gases nobres, os elétrons estavam arranjados em camadas concêntricas em torno do núcleo. Este modelo obteve melhor aceitação tanto pelos químicos como pelos

físicos e foi chamado por Langmuir de “regra do octeto” para não ser confundido com o de Lewis (GUGLIOTTI, 2001, p. 569).

Segundo Nogueira e Porto (2019a), Lewis utilizou as contribuições de Richard Abegg (1868-1910), químico alemão, o qual propunha a distribuição de valência, para propor a representação dos elétrons de valência nos elementos. Além disso, o trabalho de Abegg foi a primeira publicação que considerava a estabilidade dos gases nobres (LEWIS, 1923).

Em 1904, Richard Abegg (1868-1910) relacionou a valência com a distribuição eletrônica, conceituando valência (+) e a contra valência (-) como, respectivamente, o número de elétrons recebidos ou doados numa ligação. Alguns anos depois, Lewis propôs uma explicação eletrônica para a ligação química, e os traços passaram, então, a representar os elétrons compartilhados entre dois átomos, e não mais a valência dos elementos (NOGUEIRA; PORTO, 2019a, p. 120).

O artigo de Kossel, físico-químico alemão, orientando de Arnold Sommerfeld, não teve grande circulação como o de Lewis, no entanto trouxe algumas contribuições para a Teoria da Ligação. Conforme Greenberg (2009), Walther Kossel contribuiu com a ideia de que os átomos utilizavam seus elétrons de valência para realizar a ligação. Dessa maneira, havia o entendimento neste que os átomos tendiam a atingir a mesma estrutura eletrônica dos gases raros. Nesse sentido, de acordo com Greenberg (2009), para Kossel os átomos adotam a camada de valência do gás inerte mais próximo por perda ou ganho de elétron.

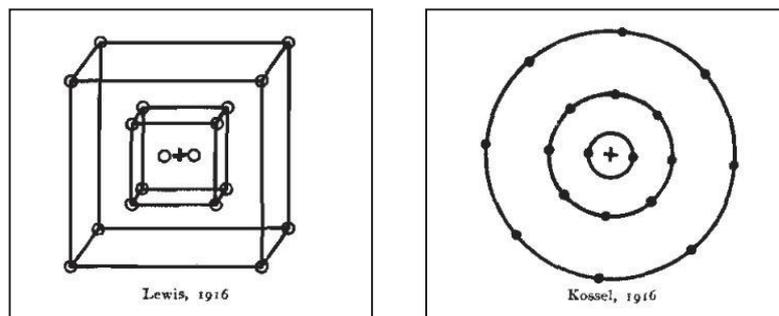
Em ‘O átomo e a molécula’, 1916, Lewis traz as representações dos elétrons de valência do primeiro período da Tabela Periódica referente aos grupos IA até VIIA. Na ‘regra dos oito’ de Lewis, os elétrons tendiam a ocupar os oito vértices do átomo cúbico, se aproximando assim da representação de inércia como a do gás neônio, último elemento desse período. Assim, esse preenchimento dos elétrons no modelo de átomo cúbico explicou a valência de um átomo. Langmuir renomeou de “regra do octeto”, porém o sentido de valência permaneceu o mesmo da ideia de Lewis (GREENBERG, 2009).

Para Lewis (1923), em ambos os artigos (Kossel e Lewis) os elétrons de um átomo circundavam um núcleo pequeno e positivo em grupos concêntricos. Entre estes; o primeiro sendo um grupo de dois, o segundo um grupo de oito, o terceiro um grupo de oito e os demais grupos de caráter indeterminado, mas sempre

terminando em um grupo externo de oito elétrons, como nos átomos dos ‘gases raros’.

Segundo Lewis (1923), Kossel assumiu os grupos sucessivos do átomo como anéis concêntricos ao redor do núcleo, enquanto o próprio Lewis assume que estes grupos constituem camadas concêntricas, formando uma estrutura tridimensional ao redor do átomo central. Tanto no artigo de Kossel, como no de Lewis, os grupos de elétrons deveriam atingir o mais alto grau de simetria e estabilidade como nos átomos do gás nobre. Isto é, hélio com seu grupo de dois, neônio com seus grupos de dois e de oito, argônio com seus grupos de dois, oito e oito e assim por diante. Outros átomos foram considerados como tendo uma forte tendência a desistir de elétrons ou a absorver elétrons de maneira a imitar a estrutura do gás nobre mais próximo. As propostas de estruturas para os átomos de Kossel e de Lewis estão representadas na FIGURA 4.

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO ÁTOMO DE LEWIS (A ESQUERDA) E KOSSEL (A DIREITA)



FONTE: LEWIS (1923).

As ideias de Lewis sobre os átomos eram incompatíveis com a teoria de Bohr, na qual os elétrons circulavam em órbitas. Conforme Pauling, Lewis afirmava que a teoria de Bohr não estava correta porque os elétrons são estáticos, ou estão nas moléculas que formam ligações químicas, as quais mantêm os núcleos juntos. Assim, por ter hipóteses contrárias ao átomo de Bohr, o Coletivo e Estilo de Pensamento de Físicos não concordava com a noção de valência de Lewis em sua totalidade (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Ademais, Irving Langmuir, químico americano, utilizou as ideias de valência presentes nos artigos de Kossel e de Lewis, e pensou em um modelo de átomo em que “os elétrons estariam arranjados em camadas concêntricas em torno do núcleo”,

o que permitia aproximação ao átomo de Bohr (GUGLIOTTI, 2001, p. 569). Talvez, por essas razões as contribuições de Langmuir receberam aceitação tanto de químicos quanto de físicos. Numa perspectiva fleckiana, ao pensar em outro modelo atômico que não fosse estático, Langmuir pode complementar o conhecimento científico de dois Coletivos de Pensamento distintos. Ou seja, um relacionado à Teoria da Ligação e outro ao átomo de Bohr, cuja aceitação de físicos era unânime, pois representava o Estilo de Pensamento daquele Coletivo no ano de 1919 (antes que surgisse o Princípio da Incerteza de Heisenberg).

Como indicado no áudio, A4, possivelmente Linus Pauling tenha se inspirado no artigo de Irving Langmuir, de 1919, para iniciar seus trabalhos sobre a 'Natureza da Ligação Química'. Após conhecer esse artigo, Pauling se interessou muito pelo assunto e retomou o artigo de Gilbert N. Lewis de 1916. Além disso, a grande sacada de Langmuir em teorizar a Química com base nos conceitos da Física, provavelmente serviram como exemplo para Pauling complementar a química estrutural com a nova física (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954), (FLECK, 2010).

Como ampliação da teoria estrutural atômica, Gugliotti (2001) menciona que a maneira como Langmuir realizou o arranjo dos elétrons dentro do átomo parecia prenciar a química quântica. Se de fato tais conceitos anunciam uma transformação do 'Estilo de Pensamento' da comunidade científica, então podemos dizer que Langmuir colaborou com a construção do desenvolvimento moderno da Química.

Da mesma forma, Pereira et al. (2017), defendem que o artigo de Lewis 'O átomo e a molécula' (The Atom and the Molecule), o qual trouxe as noções de ligação de par de elétrons, representou uma base para o desenvolvimento da Teoria de Ligação de Valência (TLV), publicada no ano de 1927.

A Teoria de Ligação de Valência descreve a formação de pares eletrônicos de valência compartilhados pelos orbitais atômicos sem que os mesmos percam suas características. Esta teoria foi desenvolvida inicialmente com o intuito de se utilizar dos conceitos da recente mecânica quântica desenvolvida por Heisenberg e Schrödinger para explicar as ligações químicas (PEREIRA et al., 2017, p. 23).

As contribuições dos cientistas citados nos revelam o caráter coletivo da pesquisa no processo de construção da Ligação Química. Schäfer e Schnelle (2010)

afirmam que, para Fleck, o pensamento individual de um cientista não dá suporte para o desenvolvimento de um 'Fato Científico', tal suporte vem do trabalho coletivo.

De acordo com Condé (2012), Fleck também discute uma controvérsia entre os pesquisadores Wassermann e Bruck, os quais disputavam a prioridade da descoberta da reação de um teste diagnóstico para a sífilis. Neste exemplo, Fleck se opõe à ideia de indivíduo descobridor, pois o conhecimento científico não é resultado do trabalho de um único cientista, mas sim de esforços de um coletivo de cientistas.

Fleck se apoia nessa controvérsia por se opor à ideia de que se pode falar de "descobridor" (ou de vários "descobridores") de um novo fato científico, e para se opor à visão que destaca o papel dos "grandes homens" e gênios da ciência (Newton, Lavoisier e Pasteur) à da ciência como um trabalho coletivo e como fenômeno social e cultural (CONDÉ, 2012, p. 20).

Segundo Mocellin (2015), Fleck enfatizou a construção coletiva do trabalho científico, em detrimento de atividades individuais e descobertas isoladas:

O médico e filósofo da medicina Ludwik Fleck foi um dos primeiros a empregar a expressão 'estilo de pensar' na descrição da construção histórica, epistemológica e experimental do conceito de sífilis. Para ele, não existia um descobridor da sífilis, pois tal conceito representava um fato científico que era o resultado de um estilo de pensamento praticado por um coletivo de pesquisadores (MOCELLIN, 2015, p. 762).

Portanto, a partir do olhar fleckiano, a ciência é produzida pelo trabalho coletivo, uma vez que em sua análise epistemológica, os contextos social, cultural e histórico devem ser levados em consideração ao longo do desenvolvimento de conhecimentos científicos. Assim, não existe "descobridor" de um fato, mas sim uma construção coletiva sobre um 'Fato Científico' (CONDÉ, 2012).

[...] ele constata, na análise da evolução histórica da descoberta da reação de Wassermann, que se estendeu a partir de 1906 por vários anos, que o resultado de maneira alguma poderia ser atribuído exclusivamente a Wassermann. Este apenas encabeçava um grupo de pesquisadores que se ocupava da sífilis. Os membros do grupo participavam do trabalho com contribuições diferentes, sendo que um se baseava nas contribuições do outro de tal modo que uma divisão das contribuições individuais já se torna completamente impossível após pouco tempo (SCHÄFER; SCNELLE, 2010, p. 17-18).

Dessa maneira, percebemos que o conhecimento nunca começa do zero, há sempre uma raiz, uma 'Protoideia' servindo como base na construção desse conhecimento. Assim, podemos afirmar que não houve um "descobridor" da ligação covalente, ou da ligação iônica, como muitas vezes pode aparecer nos livros

didáticos de Química. Mas sim, cada cientista utiliza como fundamento as contribuições de outros cientistas, sendo que no processo de emergência de um 'Fato Científico' podem surgir conflitos e rejeições de ideias, ou aceitação e fortalecimento das hipóteses que resultam na ampliação, complementação e transformação do 'Estilo de Pensamento' (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010), (FLECK, 2010).

Em relação à competição entre os cientistas, Gugliotti (2001) afirma que Langmuir popularizou o modelo de Lewis devido a sua habilidade de falar em público. No início, Lewis apreciou a divulgação de seu trabalho, porém com o passar dos anos começou a se incomodar com tais contribuições uma vez que Langmuir ganhava reconhecimento enquanto seu nome estava sendo esquecido. Já Filgueiras (2016) considera que Lewis suspeitava de que Irving Langmuir queria se apropriar de suas ideias sobre a 'natureza da ligação química'.

De acordo com Gugliotti (2001), Linus Pauling comentou em 1984 que os artigos de Langmuir trouxeram muitas contribuições e adições à teoria do par de elétron compartilhado, porém Lewis, como antagonista de Langmuir, por alguma razão não o deu o devido crédito.

A teoria do par de elétrons compartilhados foi amplamente divulgada nos EUA pelo químico Irving Langmuir (1881-1957), que realizou várias conferências explicando essa nova teoria e a chamada regra do octeto, a qual indicava o número de elétrons da última camada dos átomos e que seriam utilizados para formar os pares eletrônicos. Essas conferências fizeram com que muitos creditassem a teoria a Langmuir e não a Lewis, o que gerou um desconforto entre os dois (NOGUEIRA; PORTO, 2019a, p. 125).

Um fato marcante foi que Irving Langmuir recebeu o Prêmio Nobel em 1932<sup>26</sup> e Gilbert N. Lewis foi indicado 35 vezes e nunca foi contemplado. Para além, muitos dos alunos de Lewis receberam esse prêmio. "Possivelmente nenhum

---

<sup>26</sup> Irving Langmuir foi o primeiro químico não acadêmico a receber um Prêmio Nobel pela sua atuação no campo da Química de superfície. cursou Engenharia Metalúrgica, recebendo graduação em 1903. Tornou-se PhD em Química pela Universidade de Göttingen na Alemanha, em 1906. Teve como orientador Walther Nerst (rival de Lewis). Sua tese foi sobre dissociação de gases em contato com filamentos aquecidos. Chegou a trabalhar como professor de Departamento de Química nos EUA, porém durante curto intervalo de tempo, apenas três anos. Recebeu grande êxito profissional na indústria, a General Electric (GE). Após 1921, Langmuir parou de se dedicar à estrutura atômica, pois recebeu muitas críticas por não participar de grupos de pesquisa do meio acadêmico, em especial da físico-química (GUGLIOTTI, 2001), (VIANA, 2017).

orientador de teses teve tantos orientados seus a receber o galardão da academia sueca (FILGUEIRAS, 2016, p.1264).

Lewis tinha um caráter introvertido, pouco gregório, não muito dado a viagens e era arredo. Já Langmuir era extrovertido, escrevia e discursava bem, trabalhava na indústria e teve como orientador de doutorado Walther Nerst, que possuía inimizade com Lewis. Possivelmente esse desafeto colaborou para que Lewis nunca ganhasse o Prêmio Nobel. “Se tivesse mais alguns anos, talvez Lewis tivesse compartilhado o Prêmio Nobel de 1954 com Linus Pauling, que o tinha como um importante predecessor” (FILGUEIRAS, 2016, p. 1264).

A rivalidade entre Lewis e Langmuir foi de tão grande proporção que Lewis sofreu infarto e veio a falecer, após concessão de honra a Langmuir em sua própria universidade. Lewis era diretor do Instituto de Química da Universidade da Califórnia em Berkeley, desde início de sua carreira científica. Irving Langmuir foi convidado para ministrar palestras e receber homenagem por suas contribuições para a ligação química. O último orientando de Lewis testemunhou que a causa de sua morte teria sido um problema cardíaco, ocasionado pela afronta de ter que conviver algum momento com ‘Irving Langmuir’ (FILGUEIRAS, 2016).

[...] Lewis havia ido almoçar com um “distinto visitante” [...] ninguém menos que Irving Langmuir [...] em 23 de março de 1946, no dia da morte de Lewis, Berkeley havia conferido a Langmuir um título honorário. Este também havia sido convidado a proferir uma série de conferências na universidade. A premiação ocorreu no período da manhã e Lewis não esteve presente. Aparentemente, [...], Wendell Latimer e Joel Hildebrand arranjaram um almoço privado na tentativa de aproximar os dois eminentes químicos. Nada se sabe do que pudesse ter ocorrido naquele almoço. O certo é que pouco depois Gilbert Lewis jazia morto em seu laboratório (FILGUEIRAS, 2016, p. 1264).

Havia entre Gilbert Lewis e Irving Langmuir concorrência e inimizade, condicionamento social que também foi comentado na obra fleckiana. Para compreensão de quais influências a rivalidade entre cientistas pode proporcionar, Fleck (2010) afirma que o conhecimento é a atividade humana que mais depende das condições sociais. Por exemplo, a palavra ‘materialismo’ representa um efeito para um grupo de pessoas de descrédito e para outros, créditos. Assim ocorre na área científica, certas palavras dividem as pessoas em amigas ou inimigas.

Aparecem novos motivos que o pensamento isolado e individual seria incapaz de gerar: propaganda, imitação, autoridade, concorrência, solidariedade, inimizade e amizade. Todos esses motivos ganham

importância para a teoria do conhecimento, uma vez que todo o acervo de conhecimentos e a interação mental coletiva influenciam cada ato de conhecimento que, sem eles, seria, em princípio, impossível (FLECK, 2010, p. 86).

Dessa maneira, podemos imaginar que a leitura que Lewis fazia dos significados apresentados por Langmuir no artigo de 1919 era apenas uma reafirmação do que ele já havia escrito anteriormente. No entanto, para Fleck (2010) nem ao menos o pensamento é individual, pois é condicionado a um Coletivo. Talvez, podemos interpretar que Gilbert Lewis estava tão enraizado na Teoria da Ligação que enxergava apenas repetições e nenhuma novidade na obra de Langmuir. Ainda que, tal desgosto e inimizade, possam ter sido acentuados devido à competição pelo Prêmio Nobel.

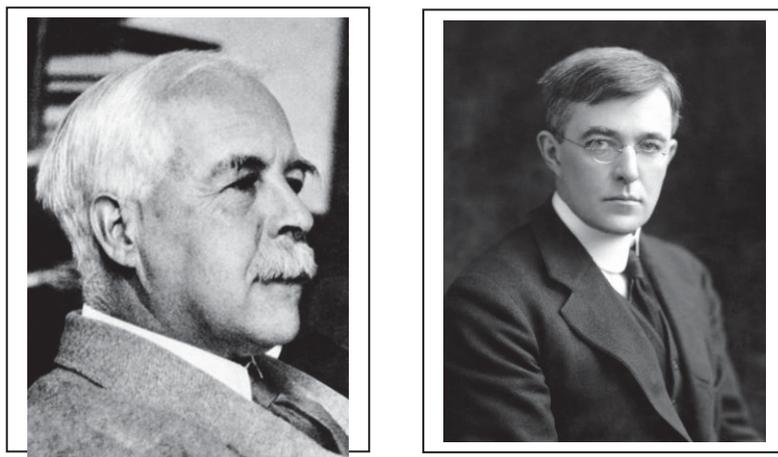
Por outro lado, Lewis teve amizade e cooperação com Linus Pauling, fatores também de condicionamento social. Ambos trocaram correspondências nos anos em que a mecânica quântica ganhava grande reconhecimento frente à comunidade científica europeia, na primeira metade do século XX. Enquanto esteve junto a Lewis, ministrando aulas e estudando, Pauling escreveu os artigos que contribuíram para a compreensão sobre a Teoria da Ligação.

Segundo Oregon State University (1925-1954), quem inspirou Pauling quanto ao assunto ligação química foram Lewis e Langmuir, os quais compartilharam o mesmo 'Coletivo de Pensamento', como declarado:

Eu fiquei interessado na questão da natureza da ligação química, depois de ter lido o artigo de 1916 sobre o par de elétrons compartilhado por G.N. Lewis e os vários artigos de 1919 e 1920 de Irving Langmuir sobre esse assunto (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, p. 5), [tradução nossa].

Os retratos dos cientistas que inspiraram a pesquisa de Linus Pauling em relação às ligações químicas, estão apresentados na FIGURA 5.

FIGURA 5 – FOTOS DE GILBERT N. LEWIS A ESQUERDA (1930) E DE IRVING LANGMUIR (1920)



FONTE: OREGON STATE UNIVERSITY (1925-1954).

A seguir, foram analisadas duas correspondências trocadas pelos químicos Pauling e Lewis no ano de 1928, nas quais se percebe a construção coletiva do conhecimento científico em torno da ligação química.

#### 3.2.4 Análise da correspondência de Linus Pauling para Gilbert N. Lewis

Linus Pauling escreve para Gilbert N. Lewis com o objetivo de atualizá-lo sobre suas pesquisas científicas na data de 07 de março de 1928. Nesta correspondência, Pauling conta o que havia lido no artigo de London<sup>27</sup> (1900-1954), e descreve o que irá escrever e publicar depois dessas observações<sup>28</sup>. Uma versão traduzida da correspondência C6 é apresentada no QUADRO 4. (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado).

QUADRO 4 – CORRESPONDÊNCIA DE LINUS PAULING PARA GILBERT N. LEWIS (C6)

<b>Tradução da correspondência de Pauling para Lewis</b>
<p>“Querido professor Lewis:</p> <p>Você sem dúvida viu o artigo recente de London no Zeitschrift für Physik e observou que os resultados que derivam da mecânica quântica em relação ao compartilhamento de elétrons são o principal equivalente às regras que você havia postulado anteriormente. Obviamente, é sua prerrogativa apontar isso, mas na crença de que provavelmente não o faria, tomei a liberdade de</p>

<sup>27</sup> Fritz London (1900-1954), físico americano, nascido na Alemanha, conhecido pelas publicações com Heitler, nas quais deram origem a Teoria do Orbital Molecular, teoria concorrente da Ligação de Valência (HARRIS, 2007).

<sup>28</sup> Correspondência- **Linus Pauling: The Nature of the Chemical Bond**. Letter from Linus Pauling to G.N. Lewis. Disponível em: <<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/corr216.1-lp-lewis-19280307.html>> Acesso em: 01 fev. 2020.

**Tradução da correspondência de Pauling para Lewis**

me referir ao fato na primeira parte de uma nota relativa a alguns desenvolvimentos adicionais da teoria que foram enviados para os Procedimentos da Academia Nacional (uma cópia está incluída). Se isso não atender a sua aprovação, farei as alterações que desejar. No artigo mais longo, referente ao *Jornal da Sociedade Americana de Química*, apontarei com mais detalhes a fundamentação dada a sua teoria pela mecânica quântica. Me agrada muito que no novo modelo atômico, as características salientes do átomo de Lewis tenham sido reproduzidas tanto quanto as do átomo de Bohr.

Nas aulas que tenho ministrado este ano sobre mecânica das ondas com aplicações químicas, revi minuciosamente o trabalho sobre molécula de hidrogênio e íon molecular e corrigi vários erros significativos. Além disso, realizei os cálculos dando a interação de dois átomos de hélio. O professor Noyes sugeriu que esse material talvez devesse ser publicado na 'Chemical Reviews', e eu escrevi para o professor Wendt para ver se ele deseja a publicação para a edição de maio. Este tratamento quantitativo das moléculas mais simples é fundamental para a consideração posterior da ligação química em geral.

Traduzi a dissertação de Goudsmit e, agora, estamos ampliando-a para formar uma monografia "O modelo atômico e a estrutura dos espectros de linha", que penso aparecerão durante o verão. Trabalhei com Goudsmit em Copenhague em problemas espectrais e achei um conhecimento da teoria espectral muito útil para solucionar o problema que mais me interessa - a Natureza da ligação química".

FONTE: AS AUTORAS (2020).

No contexto desta carta, Pauling está verificando se as regras que Lewis havia postulado sobre o compartilhamento de elétrons, continuam correspondendo às expectativas frente ao novo modelo atômico, com base na mecânica quântica. Havia rumores entre a comunidade científica que o modelo de Lewis não era satisfatório, pois não explicava profundamente o comportamento dos elétrons dentro do átomo. Além disso, a comunidade química, após artigo de Langmuir de 1919, apoiava a explicação do comportamento do elétron no átomo de Bohr, o qual seria brevemente descartado segundo o Coletivo de Pensamento dos físicos europeus.

Mesmo diante de dúvidas, o modelo de átomo de Bohr começa a ganhar refutação dentro do Coletivo de Pensamento de alguns físicos europeus por causa do Princípio da Incerteza de Heisenberg, publicado em 1927. Neste, considera-se a probabilidade de o elétron estar presente no átomo, uma vez que não se pode estimar medidas simultâneas, como a posição e o momento de uma partícula sem que haja erros fundamentais e então, o movimento circular ou elíptico do elétron no átomo foi questionado. O Princípio da Incerteza possibilitou abertura para discussões sobre o comportamento dual da matéria. Assim, "nessa interpretação adotam-se conceitos ondulatórios nos quais atribui-se uma probabilidade de encontrar uma partícula em uma determinada posição" (HOLLAUER, 2008, p. 55).

Diante desse contexto científico, a grande novidade que Linus Pauling tinha para contar ao seu correspondente era a de que o modelo de ligação química

adotado por Lewis não entrava em conflito com a nova teoria científica: “Alegro-me muito que no novo modelo atômico, as características salientes do átomo de Lewis tenham sido reproduzidas tanto quanto as do átomo de Bohr”<sup>29</sup> (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado). Desse modo, as regras estipuladas por Lewis para o compartilhamento de elétrons continuavam sendo reproduzidas, considerando as novas prerrogativas da mecânica quântica.

Após estudar dois semestres no Instituto de Física Teórica na Universidade de Munique, nos anos de 1926 e 1927, Linus Pauling conhecia quais eram os periódicos mais consultados pelos físicos como, por exemplo, o ‘Zeitschrift für Physics’, comentado na carta. Considerando que os artigos publicados realizam papel de circular as pressuposições científicas dentro do ‘Círculo Esotérico’, possibilitando a disseminação do pensamento e posteriormente, o fortalecimento do ‘Estilo de Pensamento’, Pauling tinha nestes a principal fonte de informação, referente àquela comunidade científica. Desse modo, ao ler frequentemente tal periódico, Linus Pauling estava inserido naquele ‘Círculo Esotérico’, ou seja, no círculo de especialistas na área no qual circula o saber especializado.

Também, na ocasião em que esteve na Europa pode conversar pessoalmente com outros pesquisadores e conhecer suas pesquisas. Nesse sentido, Pauling teve a oportunidade de se inserir no ‘Coletivo de Pensamento’ daqueles físicos europeus.

Dessa maneira, consideramos que Pauling transitou entre dois ‘Coletivos de Pensamento’: o de físicos europeus e o de químicos americanos. Assim, por conhecer as particularidades de ambos ‘Coletivos de Pensamento’, percebeu que um conhecimento complementava o outro.

A principal informação lida no artigo científico de London foi que os resultados derivados da mecânica quântica a respeito do compartilhamento de elétrons eram equivalentes aos postulados por Lewis. Dessa forma, Linus Pauling conta a Gilbert N. Lewis que irá escrever um artigo sobre essa correlação. Nesse sentido, em nota publicada pela academia de ciências, Pauling menciona que as considerações de London sobre as estruturas eletrônicas eram equivalentes as suposições que Lewis havia formulado em 1916, cuja base foram evidências puramente químicas. “As

---

<sup>29</sup> Trecho traduzido de: “It pleases me very much that in the new atomic model the salient features of the Lewis atom have been reproduced as much as those of the Bohr atom”.

estruturas eletrônicas compartilhadas atribuídas por Lewis para moléculas como  $H_2$ ,  $F_2$ ,  $Cl_2$ ,  $CH_4$  etc., também são encontradas por London” (PAULING, 1928, p. 360).

Pauling (1928) articulava com Lewis as possibilidades de formação de ligação de elétron compartilhado. Esta ligação era conhecida como composto não polar, por não formar íons positivo e negativo, tal como acontecia na ‘valência iônica’. Como exemplo, a molécula de HF (fluoreto de hidrogênio) era considerada por London como um composto polar, formado a partir dos íons  $H^+$  e  $F^-$ . Além disso, Pauling declara que muito provavelmente as moléculas HCl, HBr e HI eram não polares (no sentido de não serem iônicas). Eram investigados os possíveis números de ligações compartilhadas para um átomo da primeira linha (o segundo período da Tabela Periódica nos nossos dias). Para estes, o número de ligações compartilhadas não passava de quatro e para o hidrogênio não passava de uma ligação.

Consequentemente, podemos observar que a correlação entre os dois ‘Coletivos de Pensamento’ pode dar consistência para o estado do conhecimento e assim, expandir o ‘Estilo de Pensamento’ sobre o assunto, seja por meio da complementação ou ampliação deste (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010).

Assim, estava se expandindo o ‘Estilo de Pensamento’, um novo estado de conhecimento químico, uma vez que se construía uma explicação detalhada sobre as ligações químicas, tendo como base a física moderna. Um novo ‘Estilo de Pensamento’ nasce de um embate social, por meio da rivalidade de opiniões, ou diferentes pontos de vista, o qual condicionará a interpretação de futuros posicionamentos da ciência (CONDÉ, 2017).

Outra consideração é a de que Pauling e Lewis compartilhavam o mesmo ‘Estilo de Pensamento’ quanto a ideia de ligação química. Embora Pauling estivesse se familiarizando com o ‘Estilo de Pensamento’ dos físicos europeus sobre o novo modelo atômico e compartilhando desse ‘Estilo de Pensamento’ com Lewis. Desse modo, vemos uma comunicação dentro do Círculo Esotérico entre Coletivos de Pensamento distintos, com possibilidade para construção de um novo conhecimento por meio de ‘Mutações no Estilo de Pensamento’ (FLECK, 2010).

Dessa maneira, Pauling e Lewis estiveram em meio a ‘Circulação Intercoletiva de Ideias’ (ou Tráfego Intercoletivo de Ideias) ao articular as possibilidades de ligações de elétron compartilhado com Lewis e complementar essas ideias entre os dois Coletivos.

Podemos saber que Linus Pauling tinha em Gilbert N. Lewis uma rede de apoio já que além de o chamar de professor, confessa ao final da carta que os conselhos dados por Lewis eram sempre bons, como o bem-sucedido conselho de ir estudar na Europa. Além de pedir autorização a Lewis para publicar um artigo sobre a junção que havia observado, Pauling esclarece que se Lewis não aprovasse sua ideia, poderia modificar a escrita do referido artigo. Podemos enxergar nesse quesito, a abertura para circulação de ideias no sentido de solidificar a teoria da ligação em estudo. Ou seja, Pauling tinha em Lewis esperança para fundamentar a ligação química à luz da nova física. A teoria quântica estava presente no cenário científico naquele período e por isso, Linus Pauling buscava entendê-la para aplicar na Química Estrutural.

Sobretudo, as ideias articuladas nessa correspondência nos mostram que estava emergindo o conhecimento sobre a ligação covalente. Ou seja, tal conceito é construído coletivamente a partir das condições do coletivo do conhecimento, seja pela circulação de ideias, trocas de informações e do trabalho cooperativo entre os cientistas pertencentes do mesmo Coletivo e Estilo de Pensamento.

### 3.2.5 Análise da Resposta de Gilberto N. Lewis para Linus Pauling

Em resposta a Pauling, Lewis escreve para discutir pesquisas recentes em mecânica quântica e química estrutural, em primeiro de maio de 1928<sup>30</sup>. Trechos do conteúdo da correspondência C7 estão apresentados no QUADRO 5.

QUADRO 5 – CORRESPONDÊNCIA DE GILBERT N. LEWIS PARA LINUS PAULING (C7)

Tradução da Resposta de Lewis para Pauling
<p>... “Eu estava, entretanto, muito interessado no seu artigo, assim como estive no artigo de London, e há muito em ambos artigos nos quais eu concordo. O sucesso do princípio de Pauli na interpretação de espectros complexos parecia não dar aos físicos nenhuma desculpa para não aceitar em sua totalidade a teoria dos elétrons emparelhados, acoplados, independentemente de constituírem ou não uma ligação, pela neutralidade mútua de seus momentos magnéticos; e é interessante ver se será possível obter fatos do princípio de Pauli ou da nova mecânica com relação a compostos químicos que ainda não são conhecidos ou ainda não são interpretados pelos químicos. É claro que o problema fundamental após o emparelhamento de elétrons é aceito: por que podemos ter apenas um par na camada K e apenas quatro pares na camada L, etc.?”</p>

<sup>30</sup> Correspondência- **Linus Pauling: The Nature of the Chemical Bond**. Letter from G. N. Lewis to Linus Pauling. Disponível em: <<http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/corr/corr216.1-lewis-lp-19280501.html>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

**Tradução da Resposta de Lewis para Pauling**

Lamento que, em um aspecto, minha ideia de valência nunca tenha sido totalmente aceita. Era uma parte essencial da minha teoria original que os dois elétrons em uma ligação perdessem completamente sua identidade e não pudessem ser rastreados até o átomo ou átomos específicos de onde vieram; além disso, esse par de elétrons é a única coisa que nos justifica chamar 'uma ligação'. O fracasso em reconhecer esse princípio é responsável por grande parte da confusão que prevalece atualmente na Inglaterra sobre esse assunto, no qual ainda se fala em ligações polares, semipolares, e assim por diante. Penso que tanto no artigo de London como no seu, é dada muita ênfase à origem dos elétrons emparelhados.

Estou certo de que você e London estão errados ao pensar que o hidrogênio não tem duas ligações, mas isso ocorre porque nenhum de vocês considerou a possibilidade de que em uma molécula altamente polar, a ligação que liga o hidrogênio possa não estar no nível K, mas no Nível. Esta questão é discutida brevemente no meu livro 'Valence'".

FONTE: AS AUTORAS (2020).

Nesta correspondência, Lewis comenta que o princípio de Pauli respaldou a aceitação da teoria dos elétrons emparelhados para com os físicos, após interpretação de espectros complexos. Lewis revela acreditar também que novos fatos do princípio de Pauli podem desvendar compostos químicos ainda não estudados, tornando mais compreensível o referido princípio para a 'Natureza da Ligação Química'. Neste aspecto, pode ser compreendido que o comportamento do elétron é o foco de estudos dos químicos americanos. Lewis definiu que um par de elétrons justificam uma ligação e Pauling buscava compreender o comportamento do elétron frente às novas teorias quânticas. Mais precisamente, ao par de elétron emparelhados com spins opostos publicado no artigo de London.

O químico Lewis explicava a ligação química tendo como fundamento o conceito de par de elétron. Dessa forma, o átomo teria um par de elétrons em sua camada de valência variando até oito elétrons, conforme disposição das arestas no modelo atômico cúbico (FILGUEIRAS, 2016).

O Princípio da Exclusão de Pauli proibia a ocupação dos mesmos números quânticos por duas partículas no sistema. Assim, "dois elétrons em um átomo/molécula não poderão possuir os quatro números quânticos iguais" (HOLLAUER, 2009, p. 235). Ou seja,  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  e  $m_s$ . Portanto, os dois elétrons emparelhados possuem spins opostos.

De acordo com Hollauer (2009), o Princípio da Exclusão de Pauli, o qual proibia que o orbital contivesse mais que dois elétrons, possibilitou a ocupação de orbitais de mais alta energia, favorecendo a ligação química. Tais explicações com respaldo na nova física deram sustentação para a Teoria de ligação de Lewis, uma vez que confirmava um par de elétron para cada orbital.

Como exemplo, no vídeo V4, Pauling explica o princípio de exclusão de Pauli considerando o átomo de hélio (He), com carga nuclear de +2. Neste, pode haver um elétron em um orbital 1s e por sua vez, um segundo elétron também no mesmo orbital, 1s, desde que com spin oposto. Desse modo, um deles terá spin positivo e o outro spin negativo. Há um momento magnético permanente associado ao spin do elétron. Um terceiro elétron em um átomo, como o lítio (Li), terá que ocupar outro orbital, pois o orbital 1s está completamente ocupado quando possui dois elétrons emparelhados. Assim, a distribuição eletrônica do lítio pode ser representada como [He] 2s<sup>1</sup>.

Sobre estas comunicações, pode ser notado que além de discussões sobre o 'Estilo de Pensamento', está ocorrendo a 'Circulação Intercoletiva de Ideia' (ou o Tráfego Intercoletivo de Ideias), uma vez que ambos trocam informações científicas, contribuições um com o outro e, até mesmo trocam frustrações, como por exemplo, quando Lewis lamenta sobre sua ideia de valência nunca ter sido totalmente aceita. Em termos fleckianos, existia oposição de pensamentos, pois os físicos, especialmente Heitler e London, pertenciam a outro 'Estilo de Pensamento'. Além disso, Linus Pauling apresenta a Lewis os conhecimentos científicos que estão sendo construídos pelos físicos europeus, os quais complementavam a Teoria da Ligação proposta por Lewis (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

Sabendo da relevância do trabalho de Pauling para respaldar os postulados da ligação química, Lewis comenta: "Eu estava, entretanto, muito interessado no seu artigo, assim como estive no artigo de London, e há muito em ambos artigos nos quais eu concordo" (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado).

Podemos perceber que os princípios de ligação estavam mais consolidados em Lewis que em Pauling, uma vez que aquele comenta com confiança os pressupostos do princípio de Pauli sobre o emparelhamento de elétrons, algo que não é comentada na carta de Pauling. Ou seja, o pareamento de elétron com spins opostos, em um mesmo orbital, confirmava a teoria da ligação proposta por Lewis em 1916.

Assim, vemos que Lewis está mais enraizado em sua teoria, sendo, dessa maneira, mais resistente às mudanças que confrontam os princípios destacados por ele como essenciais para a ligação química. Nesse sentido, a concepção desta teoria penetra de tal maneira que qualquer contradição se torna impensável, inimaginável, longe de ser percebida por outros fatos. Estando o cientista, portanto,

em meio a Harmonia das Ilusões. Por exemplo, ao afirmar que o átomo de hidrogênio realiza duas ligações: “Estou certo de que você e London estão errados ao pensar que o hidrogênio não tem duas ligações...” (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado).

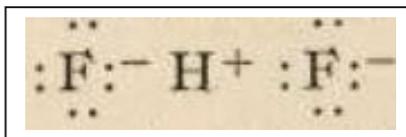
Embora queira conversar pessoalmente com Pauling e debater sobre a ligação de compartilhamento de elétrons, Lewis é mais resistente às ‘Mudanças no Estilo de Pensamento’. De acordo com Condé (2018), o ‘Estilo de Pensamento’ se insere em um longo contexto histórico de transformações. No entanto, essas mudanças científicas são vistas por Fleck (2010) como evolução da ciência, lenta e gradual, seriam as evoluções revolucionárias, e não como revolução científica, na perspectiva kuhniana (KUHN, 2011). Esta questão, inclusive, é um dos pontos que causará grande problema para Kuhn na Estrutura (1962), pois quanto mais se explicava, mas se aproximava da epistemologia de Fleck.

O pensamento sobre evolução das ideias ocorre por meio da mutação dos estilos de pensamentos e, há inclusive, dentro dessas mudanças de Estilo de Pensamento, a tendência à permanência dos sistemas de opinião. Ou seja, as razões de permanência de certos conceitos em detrimento de outros, compreendida como a Harmonia das Ilusões (FLECK, 2010).

Desse modo, Fleck (2010) afirma que quando um sistema de opinião é formado e fechado, no sentido de algo consistente, solidificado, este persiste e resistente contra tudo que o contradiga, visto que as concepções não são sistemas lógicos. Além disso, cada época tem sua concepção característica, por vezes dominantes, em outras permanece com restos de concepções passadas e, ainda com predisposições futuras. As concepções se conservam por meio da harmonia da ilusão.

Lewis estava tão certo da possibilidade de duas ligações de hidrogênio que, posteriormente, Pauling (1928) expõe uma ideia para estrutura iônica, com um átomo de hidrogênio e dois fluoretos, numa tentativa de explicar que o hidrogênio podia realizar duas ligações. Nesta, o próton ( $H^+$ ) mantém os dois íons fluoretos juntos por forças eletrostáticas (incluindo polarização). O composto nesse caso seria polar, por formar íons  $H^+$  e  $F^-$ . Ou seja, ainda não estava formalizado o conceito de covalência, que sugeriria o compartilhamento de elétrons. Essa estrutura ‘iônica’ é apresentada na FIGURA 6.

FIGURA 6 - CONCEPÇÃO DE LEWIS PARA DUAS LIGAÇÕES DE HIDROGÊNIO



FONTE: PAULING (1928).

A teoria quântica foi um marco para o novo 'Estilo de Pensamento' da ciência no século XX. No entanto, esse aspecto não foi favorável para a 'teoria de Lewis', baseada no par eletrônico, pois esta não seguia um modelo matemático, era simplificada e por que não se viu entre aquele 'Coletivo de Pensamento', potencialidade de aplicação dessa teoria para outras áreas da química. Foi necessário, portanto, contribuições de Linus Pauling, Wolfgang Pauli, Fritz London etc. para que se confirmasse o conceito do par de elétrons para a ligação química. Desse modo, vemos nesse exemplo que o conhecimento científico foi construído a partir de um coletivo.

### 3.2.6 O trabalho cooperativo entre Lewis e Pauling

Após as duas correspondências apresentadas anteriormente, Linus Pauling e Gilbert Lewis possivelmente cogitaram trabalhar juntos na mesma instituição. É o que revela a correspondência C8 de Pauling destinada a Lewis em 19 de maio de 1929. Nesta, Pauling informa que decidiu permanecer no Instituto de Tecnologia da Califórnia (CALTECH). No entanto, relata que recebeu permissão para visitar Berkeley (Instituição de Lewis) todos os anos por período de até um mês, ou em anos alternados se a permanência nesta fosse maior que um mês (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954). Tais descrições estão presentes na correspondência C8, apresentada no QUADRO 6.

QUADRO 6 – CORRESPONDÊNCIA DE PAULING PARA LEWIS (C8)

<b>Tradução da Correspondência de Pauling para Lewis</b>
<p>Querido professor Lewis:</p> <p>Ao decidir permanecer no Instituto, a perspectiva de ir ocasionalmente a Berkeley provavelmente tenha algum efeito, como talvez tenha também alguma opinião a respeito. De qualquer maneira, recuperei minha paz de espírito.</p> <p>Tenho permissão do Conselho Executivo para ir a Berkeley por um mês (ou mais em anos alternados) a cada ano. Eu deveria imaginar que abril pode ser um bom mês, o que diz sobre isso? Tem algum plano para o próximo ano? Mas tenho disponibilidade para ir a qualquer outro</p>

<b>Tradução da Correspondência de Pauling para Lewis</b>
<p>momento. Ainda assim, a primavera me serviria melhor. Se você estiver em Berkeley para a reunião da AAAS no próximo mês eu gostaria de vê-lo.</p> <p>Atenciosamente, Linus Pauling.</p>

FONTE: AS AUTORAS (2020).

Um fator importante na carreira de Linus Pauling diz respeito aos apoios financeiros que este cientista recebeu durante sua vida acadêmica. Neste último caso, por exemplo, Pauling recebeu licença para visitar a Universidade de Berkeley, na qual permanecia por período de um mês ao ano. Assim, tornaram-se possíveis as articulações entre ambos e conseqüentemente, o desenvolvimento das ideias da extensão da Teoria de Ligação, dentre outros esclarecimentos sobre a ‘Natureza da Ligação Química’. Vale ressaltar que o apoio financeiro ao cientista também é fazer ciências, pois se reflete diretamente na produção do cientista.

Em 29 de maio de 1929, Lewis demonstra interesse em saber a decisão de Pauling. Em seguida, declara satisfação ao saber que Pauling poderá realizar viagens regulares a Berkeley. Lewis comenta que enviará uma correspondência contendo um convite formal a Linus Pauling para tal estadia em sua instituição. Relata, ainda, que enviará o artigo de Heisenberg, o que nos revela que os dois estudaram o Princípio da Incerteza. Essas informações são apresentadas em correspondência C9 no QUADRO 7.

QUADRO 7– CORRESPONDÊNCIA DE LEWIS PARA PAULING (C9)

<b>Tradução da Correspondência de Lewis para Pauling</b>
<p>Meu querido Pauling,</p> <p>Estávamos todos interessados na sua decisão e todos estamos satisfeitos em pensar que você não estará longe. Também é uma satisfação saber que pode estar conosco quase todas as vezes que lhe convir. [...] abril é perfeitamente satisfatório, exceto que seria melhor começar na última semana de março já que nossos exames começam cerca de uma semana antes do final de abril. Você receberá um convite formal em breve.</p> <p>Espero estar aqui na reunião da Associação, mas ainda não tenho certeza absoluta. Se eu puder estar aqui, estarei e espero vê-lo.</p> <p>Lamento ter esquecido de devolver o artigo de Heisenberg. Estou enviando para você agora.</p> <p>Com os melhores cumprimentos a Sra. Pauling e a você, Muito atenciosamente Gilbert N. Lewis</p>

FONTE: AS AUTORAS (2020).

Em oito de março de 1930, Lewis expressa na correspondência C10, alegria por receber Pauling e informa os dias que este lecionará na Universidade de Berkeley, junto a ele. Conforme correspondência C10 apresentada no QUADRO 8.

QUADRO 8 – CORRESPONDÊNCIA DE LEWIS PARA PAULING (C10)

<b>Tradução da Correspondência de Lewis para Pauling</b>
<p>Meu querido Pauling,</p> <p>Nós estamos satisfeitos por você estar aqui em breve e compartilhar suas aulas às Segundas, Quartas e as Sextas às onze, começando no dia 17 próximo.</p> <p>Com os melhores cumprimentos a Sra. Pauling e a você, Atenciosamente, Gilbert N. Lewis.</p>

FONTE: AS AUTORAS (2020).

No ano seguinte, enquanto lecionava em Berkeley, Linus Pauling teve seu trabalho sobre a teoria dos orbitais de ligação híbrida publicado no periódico ‘Jornal da Sociedade Americana de Química’ (Journal of the American Chemical Society). Este artigo foi o primeiro de uma série influente de artigos em relação à ‘Natureza da Ligação Química’, o qual o próprio Pauling comentou: “Muito importante: o melhor que já fiz” (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado).

Percebemos que ao lado de Lewis, primeiro por correspondências e depois pessoalmente, Linus Pauling desenvolveu a extensão às regras da Teoria da Ligação, nas quais aquele havia iniciado. Dessa maneira, observamos que Pauling precisava de apoio científico de outro químico de sua época, pertencente ao mesmo ‘Coletivo de Pensamento’ para fundamentar suas ideias químicas. Entendemos desse modo, que os pares são importantes tanto na rejeição como na aceitação de teorias científicas.

A principal ideia defendida por Fleck é a de que “a Ciência é um esforço coletivo dos seres humanos” (CONDÉ, 2012, p. 19). Dessa maneira, a produção e a validação de um conhecimento científico dependem da sociedade e da cultura, na qual a comunidade científica está inserida.

Fleck parte da suposição de que a teoria do conhecimento individualista conduz apenas a uma concepção fictícia e inadequada de conhecimento científico. A ciência consiste em algo organizado por pessoas de modo cooperativo; assim, deve ser considerada, em primeiro lugar, a estrutura sociológica e as convicções que unem os cientistas, para além das

convicções empíricas e especulativas dos indivíduos (SCHÄFER; SCHNELLE, 2010, p.15).

Nesse sentido, interpretamos a partir da epistemologia de Fleck que a interação entre Pauling e Lewis foi um trabalho cooperativo, de mútua ajuda e esforços para consolidação de um 'Estilo de Pensamento' químico, o qual possivelmente era consenso entre ambos cientistas e os unia.

A teoria de ligação articulada por esses químicos, e desenvolvida com critérios puramente químicos, sofria críticas de ser reduzida à física. Conforme Harris (2007), em 1927, os físicos Walter Heitler e Fritz London mostraram que a ligação de valência, uma ligação entre dois átomos formada pelo compartilhamento de um par de elétrons entre eles, poderia ser explicado usando a mecânica de ondas de Erwin Schrödinger. Dessa forma, tal trabalho ilustrou que a estabilidade formada pela ligação do par de elétrons era devido ao fenômeno de ressonância da mecânica clássica. Assim, o mecanismo da ligação poderia ser explicado por teoria puramente física, e a química poderia de mesma forma ser reduzida à física.

Todavia, Harris (2007) sugere que filósofos da química moderna têm argumentado um ponto de vista antirreducionista, enfatizando que a prática química com métodos diagramáticos a torna autônoma da física. Esses argumentos mostram que há mais na prática da química do que pode ser capturado pela matemática da equação de onda.

Simões (2008) afirma que Charles Alfred Coulson (1910-1974) se apropriou dos conceitos de hibridização de Pauling e de sobreposição e os traduziu para o 'Orbital Molecular', ao escrever sobre 'teoria quântica da ligação química', em 1941. Assim, Coulson explicou diagramas de formação das ligações de água, etileno e benzeno. Em consonância a Pauling, Coulson enfatizou a junção dos resultados experimentais e intuição química na sugestão de desenvolvimento matemáticos particulares. Coulson simpatizava com o método do 'Orbital Molecular' e não tentou refutar a Ligação de Valência. Sobretudo, reconheceu que a ressonância era uma das maneiras mais poderosas pelas quais a intuição química o levou a encontrar funções de onda. Ou seja, Coulson utilizou os dois métodos de uma maneira que Pauling nunca conseguiu e recebeu influência dos artigos deste sobre a 'Natureza da Ligação Química'. Provavelmente, Pauling tenha deixado um legado para o químico mais jovem, embora ambos trocaram cartas na década de 1950, após

edição do livro 'Valence' de Coulson, e assim, puderam estar numa circulação intercoletiva de ideias.

A princípio, Linus Pauling criticou o foco dos estudos dos físicos, pois estes se interessavam exclusivamente em resoluções matemáticas e dessa maneira, acreditavam que a base para a explicação do mundo estaria ligada às equações, deixando a química reduzida à física e simplificando a própria natureza em equações.

Eu gosto de físicos- eles são homens e mulheres muito inteligentes, mas eles não apreciam a vida tanto quanto deveriam, porque a maioria deles não conhece muita química. Dirac disse há muito tempo (ele deve estar cansado de ter essa afirmação cogitada) que a equação de onda "Schrödinger" abrange uma grande parte da física e toda a química. Este é o problema com os físicos- eles não sabem muito sobre o mundo- eles conhecem apenas as equações. Nós, químicos, temos a sorte que a química foi bem desenvolvida antes que a equação de onde de Schrödinger fosse descoberta<sup>31</sup>. Se isso não tivesse ocorrido, a química estaria no mesmo estado da física nuclear hoje. As equações poderiam ser resolvidas, dando números de acordo com as observações experimentais, mas não haveria muita compreensão<sup>32</sup> (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954, não paginado), [tradução nossa].

Portanto, havia esse embate de químicos versus a físicos no tratamento da ligação do par de elétrons compartilhado. No entanto, tal como apresentado por Harris (2007), houve uma ênfase ao caráter interdisciplinar no ambiente em que a ligação química se desenvolveu, atingindo os campos híbridos da primeira físico-química no final do século XIX e no início do século XX.

Na ligação de valência, tratada por Heitler e London, as ligações entre átomos são formadas pela sobreposição de orbitais atômicos individuais, os quais permitem um par de elétrons compartilhado entre duas camadas de elétrons. Esta noção do par de elétrons havia sido proposta por Lewis, no contexto de um átomo em forma de cubo, e desenvolvido por Irving Langmuir. Após, Linus Pauling realizou um tratamento mecânico-quântico, além do físico John Clarke Slater (1900-1976), físico teórico americano, os quais independentemente derivaram a estrutura tetragonal do átomo de carbono pelo novo método de 1931. Desse modo, por meio

---

<sup>31</sup> No trecho citado, as palavras de Linus Pauling estão fidedignas ao mencionado pelo próprio cientista, por isso o termo "descoberta" foi colocado na citação. Contudo, este termo não condiz com a nova historiografia da ciência, tampouco com a epistemologia fleckiana. O termo que substituiríamos seria: "antes que o conceito da equação de onde de Schrödinger fosse construído".

<sup>32</sup> Manuscrito de Linus Pauling- "The Development of the Concept of the Chemical Bond", o desenvolvimento da concepção da Ligação Química. Disponível em: <http://scarc.library.oregonstate.edu/coll/pauling/bond/notes/1983s.1.html>. Acesso em: 03 fev. 2020.

de esforços de Pauling em conjunto com Lewis, o método da ligação de valência tornou-se amplamente utilizado até a década de 1950, quando o método orbital molecular alcançou uma aceitação mais ampla, após disputas prolongadas entre partidários das teorias rivais (HARRIS, 2007).

De acordo com Harris (2007), Lewis postulou a ligação de valência dentro de uma estrutura de atomismo químico e a estabeleceu como um trabalho de química, embora reconhecesse a necessidade de uma exposição física do par de elétrons. Assim, os esforços de Pauling, ao utilizar Heitler e London, bem como usar a teoria de ressonância para fundamentar os estudos de Lewis, fizeram da ligação química um trabalho físico-químico completo que preservou as ideias da valência clássica.

Segundo Simões (2008), a aceitação da 'Natureza da Ligação Química' na comunidade química se deu por causa da assertiva da físico-química nos EUA, na qual Gilbert Lewis foi um dos expoentes e ao fracasso de tentativas de construir uma teoria da ligação química dos físicos alemães Heitler e London.

### 3.4 FORMAÇÃO DO ESTILO DE PENSAMENTO SOBRE A LIGAÇÃO DO PAR DE ELÉTRON COMPARTILHADO

Essa seção tem como objetivo trazer as contribuições de Gilbert Lewis, Irving Langmuir e de Linus Pauling para a construção coletiva da ligação covalente. Primeiro, é apresentada a contribuição de Lewis com as bases da ligação de valência pelo par de elétrons que se combinam para formar a ligação química. Após, as contribuições de Langmuir como a denominação de covalente e demais extensões das estruturas de Lewis. Ao final são apresentadas as contribuições de Linus Pauling, o qual expandiu as regras para a ligação eletrônica compartilhada, sendo as três primeiras reafirmações de Lewis, Heitler e London e as últimas três regras eram extensões propostas por ele.

Enquanto lecionava em 1902, Lewis teve a oportunidade de refletir sobre os fundamentos da 'nova' teoria do elétron. Dessa maneira, combinou esta teoria com a classificação periódica propondo uma representação da estrutura interna do átomo. Desse modo, o livro intitulado 'Valência e a estrutura de átomos e moléculas', de

1923, surgiu como um memorando sobre os seminários de discussão entre colegas e alunos (LEWIS, 1923).

As características principais da estrutura do átomo, na perspectiva de Lewis, foram: 1) os elétrons no átomo estão arranjados em cubos concêntricos; 2) o átomo neutro de cada elemento contém um elétron a mais que o átomo neutro do precedente; 3) os gases raros possuem oito elétrons no cubo e este será o núcleo sobre o qual é construído o maior grupo de elétrons do próximo período, ou seja, o gás nobre como caroço dos elementos do próximo período e 4) os elétrons de um cubo externo incompleto podem ser dados a outro átomo, como por exemplo o  $Mg^{2+}$  ( $Mg^{++}$ , conforme notação de Lewis), ou elétrons podem ser retirados de outros átomos para completar o cubo, como o caso do cloreto, Cl. Representando dessa maneira, “valência positiva e negativa” (LEWIS, 1923, p. 30).

Para iniciar os fundamentos da teoria científica que chamou de ‘Teoria de Valência’, Lewis recebeu influências das contribuições de Abegg, uma vez que este foi o primeiro a considerar a estabilidade do grupo de oito elétrons, em artigo de 1904 intitulado ‘Valência e o sistema periódico: tentativa de uma teoria dos compostos moleculares’. A regra de oito elétrons foi renomeada de regra do octeto por Langmuir, permanecendo esse termo até nossos dias (LEWIS, 1923).

Além disso, Lewis (1923) menciona que outra contribuição importante para a lei periódica foi a de Thomson em 1904, o qual considerou que as sequências matemáticas nos átomos dos elementos consistem em um número de elétrons usados em uma esfera de eletrificação positiva e uniforme. Dessa maneira, Thomson concluiu que um anel de elétrons, espaçados e girando em torno de um centro positivo, seria estável até que o número de elétrons no anel excedesse um limite e se dividisse em dois anéis concêntricos.

De acordo com Lewis (1923), Thomson viu uma analogia entre o arranjo de elétrons e o sistema periódico. No entanto, pouco tempo depois surgiu a teoria atômica de Rutherford, trazendo novas perspectivas para o átomo. Nesta teoria, o átomo ocupava mais espaços vazios do que preenchidos, sendo o núcleo pequeno e os elétrons estariam em volta desse núcleo com em um sistema planetário.

Dessa maneira, compreendemos que Lewis construiu as bases para a teoria da ligação utilizando contribuições anteriores de outros cientistas, tais como Abegg, Thomson, Rutherford. No ano de 1916, quando publicou seu artigo ‘O átomo e a molécula’, Lewis comparou seu entendimento com o de Kossel, e notou que havia

nestes dois artigos imagens estreitamente paralelas da estrutura dos átomos e das moléculas. Inclusive, cada átomo poderia existir na forma de íon. De acordo com a epistemologia de Fleck (2010), a confirmação dos dois artigos proporcionou um fortalecimento social para formação do conhecimento científico.

Lewis (1923) comenta sobre a formação de íon positivo em um átomo, como o de hidrogênio, e a tendência de os átomos formarem grupo de oito:

Nesse contexto, enfatizei a peculiaridade do hidrogênio que, ao emitir um elétron, pode se tornar o mais simples dos íons positivos, existindo apenas de um núcleo atômico, enquanto que ao assumir um elétron, ele pode completar o grupo de dois, característico do átomo de hélio. [...] Além deste caso, os átomos mostram uma tendência acentuada para formar um grupo externo de oito elétrons, e essa tendência fornece uma interpretação muito simples de uma grande classe dos compostos químicos (LEWIS, 1923, p.72).

Dessa forma, Lewis demonstrou que o hidrogênio pode formar íons hidrogênio ( $H^+$ ) sem elétrons, ou íons hidretos ( $NaH$ ) adicionando um elétron para completar o par estável ou ainda, unir dois átomos de hidrogênio ( $H_2$ ). Lewis (1923) argumenta ter chamado atenção para o fato de que os elétrons presentes nas camadas de valência dos átomos em sua maioria, apresenta número par de elétrons. Assim, o químico pensou como regra universal que o número de elétrons de valência em uma molécula seja um múltiplo de dois.

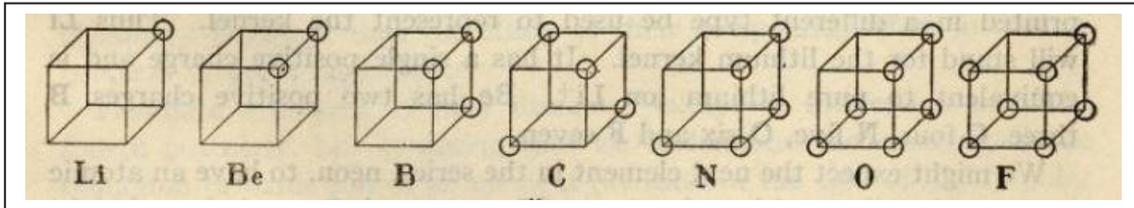
A explicação mais simples da ocorrência predominante de um número par de elétrons nas camadas de valência das moléculas é que os elétrons estão definitivamente emparelhados. [...] Supõe-se que essa tendência de formar pares não é uma propriedade de elétrons livres, mas sim uma particularidade dos elétrons dentro do átomo (LEWIS, 1923, p.81).

Por causa das evidências do emparelhamento, Lewis (1923) propôs que temos uma ligação química quando dois elétrons estão acoplados, situados dentro de centros atômicos e em conjunto na camada de dois átomos.

De acordo com Filgueiras (2016), na teoria do átomo cúbico os elétrons de valência de um átomo se distribuem pelos vértices de um cubo, os quais representam a camada mais externa do átomo, podendo variar de zero a oito. Dessa forma, o átomo possui um kernel, ou caroço, ou ainda um centro, o qual permanece inalterada após mudanças químicas. Como exemplo, a distribuição dos elétrons no Argônio (Ar) pode ser representada por 2-8-8, e por analogia este é o caroço dos elementos do segundo período (ou do primeiro período mais longo, como se referia

Lewis). Assim, potássio (K) possui como distribuição nas camadas mais internas 2-8-8-1 e o cálcio (Ca) 2-8-8-2 (LEWIS, 1923). Algumas possibilidades de rearranjos de elétrons são apresentadas na FIGURA 7.

FIGURA 7 – OS ÁTOMOS DE LEWIS



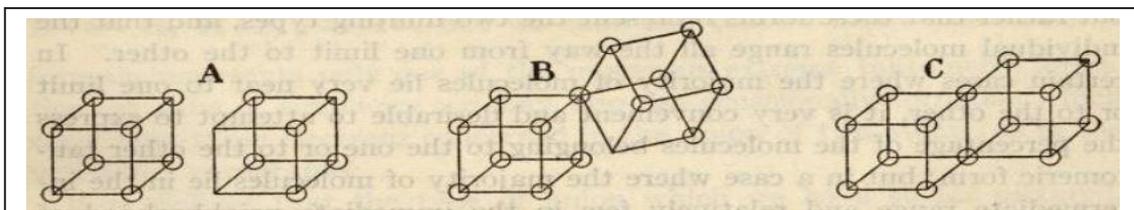
FONTE: LEWIS (1916).

LEGENDA: Estão representadas imagens da estrutura atômica dos elementos da 'primeira linha' (segundo período da Tabela Periódica). Os círculos localizados na vértices representam os elétrons na camada externa do átomo neutro. Tal estrutura, foi utilizada por Lewis (1916) para explicar os comportamentos dos elementos químicos.

Nessa representação de Lewis, o átomo de lítio (Li), por exemplo, teria o caroço [He], completando o grupo de dois, e um elétron no grupo de oito, o qual poderia ser doado para alcançar estabilidade semelhante ao hélio.

Conforme Greenberg (2009), para Lewis, o compartilhamento de uma aresta (com dois elétrons) formava uma ligação simples entre dois átomos cúbicos, como uma molécula de iodo ( $I_2$ ). Tal representação está mostrada na FIGURA 8.

FIGURA 8 – ETAPAS DO COMPARTILHAMENTO DE UMA ARESTA

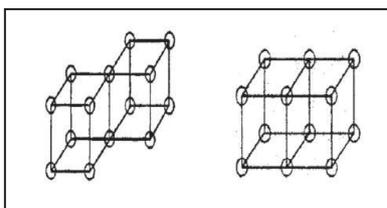


FONTE: LEWIS (1916).

LEGENDA: Representação das etapas de uma ligação simples, com dois elétrons compartilhados. São compartilhadas apenas as arestas em uma ligação simples.

Ou seja, o compartilhamento de uma aresta representava uma ligação simples, mas se os átomos compartilhassem uma face pela fusão de dois cubos, aí haveria uma ligação dupla e quatro elétrons compartilhados (GREENBERG, 2009). Exemplo de ligação simples e dupla estão apresentadas na FIGURA 9.

FIGURA 9 – LIGAÇÃO SIMPLES (A ESQUERDA) E LIGAÇÃO DUPLA (A DIREITA)



FONTE: NOGUEIRA; PORTO (2019a).

De acordo com Nogueira e Porto (2019), o átomo de Lewis era cúbico e estático, simplificado e sem equações matemáticas, vindo a sofrer muitas críticas do ‘Coletivo de Pensamento’ dos físicos. Lewis (1916), por sua vez, fundamentava a ligação química como a valência formada por um par de elétron. Nesta, não havia distinção entre ligação iônica ou covalente. Desse modo, na ‘valência iônica’ ocorreria o composto polar, por haver formação de íons positivos e negativos, e no segundo caso, a formação era não polar. Como exemplo, Lewis explicou a formação de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) da seguinte maneira: “quando o cálcio e o cloro se unem, o átomo de cálcio emite dois elétrons a cada átomo de cloro e estes adquirem um elétron cada um, assumindo o estado iônico, na qual cada átomo possui o grupo de oito na sua camada mais externa” (LEWIS, 1923, p. 79).

Outros exemplos, agora para composto não polar de acordo com Lewis (1923), são as formações das moléculas de hidrogênio, cloro, ácido clorídrico e metano, respectivamente  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$  e  $\text{CH}_4$ . Assim, quando dois átomos de hidrogênio formam uma molécula diatômica, cada um fornece um elétron do par que constitui a ligação. As representações estão no QUADRO 9.

QUADRO 9 – LIGAÇÃO DO ELÉTRON COMPARTILHADO, POR LEWIS (1923)

Fórmula molecular	Estrutura de Lewis
$\text{H}_2$	$\text{H}:\text{H}$
$\text{Cl}_2$	$:\ddot{\text{Cl}}:\ddot{\text{Cl}}:$
$\text{HCl}$	$\text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$
$\text{CH}_4$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \vdots \\ \text{H}:\text{C}:\text{H} \\ \vdots \\ \text{H} \end{array}$

FONTE: AS AUTORAS (2020), (LEWIS, 1923, p. 82).

Gilbert Lewis em 1916 escreveu algumas outras representações para a ligação de elétron não compartilhado, no entanto este cientista parou no átomo de titânio (Ti), pois a sequência da quantidade de elétrons nas camadas mais internas dos átomos não funcionava a partir deste. Tendo como distribuição dos elétrons, caroço, 2-8-9 quando ( $Ti^{3+}$ ) e 2-8-10 quando ( $Ti^{2+}$ ) (LEWIS, 1923).

No meu artigo original, fiquei contente com uma breve descrição dos principais resultados da teoria, pretendendo, posteriormente, apresentar de maneira mais detalhada os vários fatos da química que tornaram necessárias essas saídas radicais da teoria de valência mais antiga. Esse plano, no entanto, foi interrompido pelas exigências da guerra e, enquanto isso, a tarefa foi realizada, com muito mais sucesso do que eu poderia ter conseguido, pelo Dr. Langmuir em uma brilhante série de doze artigos, bem como um grande número de palestras ministradas nos EUA e em outros países. É em grande parte por meio desses documentos e endereços que a teoria recebeu a ampla atenção dos cientistas (LEWIS, 1923, p.87).

Langmuir foi um grande divulgador da teoria de valência que explicava os fundamentos da ligação química, bem como do artigo de Lewis. Nesse percurso, Lewis reconhece que Langmuir escreveu doze artigos com extensões e aplicações de fórmulas estruturais, além de realizar uma série de conferências de divulgação dessa teoria. Lewis relata ainda, que tinha intenção de realizar apontamentos semelhantes, porém não pode realizar tais feitos porque necessitou trabalhar na guerra (LEWIS, 1923). De acordo com Filgueiras (2016), Lewis trabalhou na Primeira Guerra mundial na França para defender seu país de guerra química, treinando 200 oficiais por semana para o exército americano.

Podemos observar que um fator externo à ciência, relativo a uma convocação para a Guerra inviabilizou a continuidade da pesquisa da ligação química por parte de Lewis naquele período. Além disso, Lewis esperava que houvesse uma proposta de mudança da teoria, um debate controverso nas extensas aplicações de Langmuir pela qual ele havia avançado, mas não teve (LEWIS, 1923).

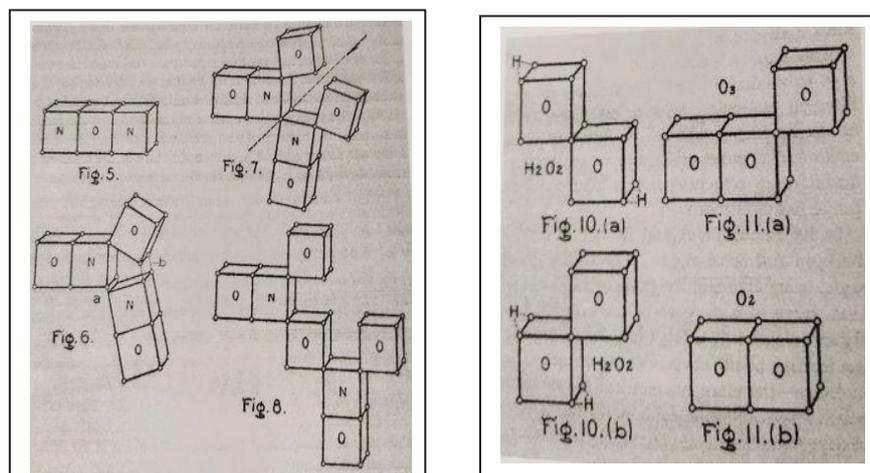
De fato, a principal contribuição de Langmuir foi (re)organizar as ideias defendidas por Lewis, de modo a complementar o conhecimento científico entre os dois Coletivos de Pensamentos, de químicos e físicos, o que possibilitou um novo 'Estilo de Pensamento'. Como já mencionado na seção anterior.

O cientista Irving Langmuir trouxe novos termos e conceitos para a Química, tais como 'regra do octeto' e 'covalência', o qual mais tarde ficaria conhecido como covalente (FILGUEIRAS, 2016).

Além de organizar e avançar nas ideias de Lewis, Langmuir introduz em seu artigo duas novas expressões, que são usadas até hoje. A primeira aparece quando, ao discutir o arranjo cúbico dos elétrons, de acordo com Lewis, ele diz: “chamaremos este grupo estável de oito elétrons de octeto”. Mais adiante, sob o título ‘Valência, Número de Coordenação e Covalência’, escreve Langmuir: ‘denotaremos pelo termo covalência’ as ligações envolvendo compartilhamento de elétrons. Langmuir foi o grande popularizador da teoria de Lewis, de tal sorte que ela passou a ser conhecida por muitos como teoria de Lewis-Langmuir, para grande desgosto de Lewis (FILGUEIRAS, 2016, p. 1266-1267).

Segundo Greenberg (2009), Langmuir traz outros arranjos para a estrutura atômica dos elementos, como para alótropos de oxigênio e peróxidos de hidrogênio, além de vários arranjos para o nitrogênio, como está apresentado na FIGURA 10.

FIGURA 10 – EXTENSÕES DAS ESTRUTURAS DE LEWIS POR LANGMUIR



FONTE: GREENBERG (2009).

Dentre as contribuições para a estrutura atômica, Pauling explicou que Langmuir introduziu a ideia de carga formal ao afirmar que é possível dividir o par de elétrons dentro da ligação química. Assim, torna-se possível contar quantos elétrons existem em cada átomo que estão na ligação e, por fim, a carga resultante. Também introduziu o princípio de ‘eletroneutralidade’ nas quais as cargas dos átomos precisam ser zero, +1 ou -1. Langmuir trouxe ainda, a ideia de ‘energia de ionização’, na qual a primeira energia de ionização para alguns átomos é mais baixa, podendo ser retirado um elétron, como, por exemplo, nos metais. No entanto, leva muito mais energia retirar um segundo elétron, então é improvável que essa seja a situação em uma molécula estável ou cristal (OREGON STATE UNIVERSITY, 1925-1954).

[...] Pauling menciona alguns dos novos termos e conceitos introduzidos por Langmuir, como *Eletroneutralidade*, *união polar* (hoje conhecida como *ligação iônica*), *isosterismo*, *isomorfismo*, e *ligação covalente*, e relembra que Langmuir concluiu ainda que moléculas como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, entre outras, possuíam uma estrutura linear. Foi Langmuir também quem *deduziu a expressão matemática para a regra do octeto* (a qual é utilizada até hoje), *definiu valência*, e os termos *isoeletrônicos*, *isômeros* e *isóbaros* (GUGLIOTTI, 2001, p. 569).

O cientista Linus Pauling buscou na teoria quântica, explicações para a ‘Natureza da ligação química’ e a química estrutural. Desse modo, Pauling (1928) afirmou que com o desenvolvimento da mecânica quântica, se tornou evidente a relação do Princípio de Exclusão de Pauli e o fenômeno de ressonância de Heisenberg e Dirac com a ligação entre dois átomos.

[...] no caso de dois átomos de hidrogênio no estado normal, aproximados um do outro, a função própria, na qual é simétrica nas coordenadas posicionais de dois elétrons, correspondem a um potencial que faz com que os dois átomos se combinem para formar uma molécula. Esse potencial se deve principalmente a um efeito de ressonância que pode ser interpretado como envolvendo um intercâmbio na posição de dois elétrons que formam a ligação, de modo que cada elétron esteja parcialmente associado a um núcleo e parcialmente com o outro (PAULING, 1928, p. 360).

Conforme Greenberg (2009), Pauling propôs o conceito de hibridização para explicar como os orbitais atômicos se sobrepõem um ao outro para formar ligações entre os dois átomos. Inclusive, explicou sobre o híbrido de ressonância, trazendo fim a um dilema que durou cerca de 70 anos a respeito do benzeno e sua reatividade. Além disso, nas contribuições de Kossel, Lewis e Langmuir os elétrons seguem a regra do octeto para formarem a ligação. Já Pauling utilizou a estrutura dos compostos para examinar sua natureza da ligação química, se iônica ou covalente. Ademais, estabeleceu o conceito de eletronegatividade para quantificar a natureza dos compostos, se covalente ou iônica.

Segundo Oregon State University (1925-1954), o maior objetivo desse químico foi aplicar a nova física a problemas da química estrutural. As contribuições sobre as ligações químicas possibilitaram o entendimento de um novo Estilo de Pensamento de como os átomos se unem na formação das moléculas.

Em agosto de 1979, Linus Pauling escreveu um manuscrito referente à ‘Natureza da Ligação Química’. Neste, o cientista trabalhou com intuito de simplificar as equações da mecânica quântica, tais como a equação da função de onda, de tal

maneira que permitisse uma solução aproximadamente fácil. Durante cerca de dois meses, Pauling trabalhou nesta ideia e escreveu um artigo comunicando os resultados destas aplicações. O artigo foi publicado no Journal of American Society (Jornal da Sociedade Americana de Química) em 1931, tornando conhecidas as seis regras para a ligação eletrônica compartilhada, as quais estão apresentadas no QUADRO 10.

QUADRO 10 – AS SEIS REGRAS DA NATUREZA DA LIGAÇÃO QUÍMICA

Regra	Formulação
1	A ligação de pares de elétrons é formada pela interação de um elétron desemparelhado em cada um dos dois átomos;
2	Os spins dos elétrons são opostos;
3	Se emparelhados, os dois elétrons não podem participar de ligações adicionais;
4	Os termos de troca de elétrons para a ligação envolviam apenas uma função de onda de cada átomo;
5	Os elétrons disponíveis nos níveis mais baixos de energia formariam as ligações mais fortes;
6	De dois orbitais em um átomo, o que pode se sobrepor mais a um orbital de outro átomo, forma a ligação mais forte e esta tende a se situar na direção desse orbital concentrado. Isso permitiu o cálculo dos ângulos das ligações e previsão das estruturas moleculares.

FONTE: OREGON STATE UNIVERSITY (1925-1954), (PAULING, 1931).

Embora Linus Pauling tenha apresentado uma contribuição individual, formalizado pelas seis regras de ligação eletrônica compartilhada, a construção do conhecimento sobre a natureza da ligação química consistiu em um trabalho coletivo. Assim, esse relato histórico nos remete a confirmação de que “todo trabalho científico é um trabalho coletivo”, pois é confirmado por meio do Coletivo e Estilo de Pensamento dentro da comunidade científica. Como exemplo, unindo-se a Lewis, Pauling tinha formalizado um grupo de estudo e dessa maneira, tornou-se possível confirmar as pressuposições quanto a ligação química, muito estudada previamente por Lewis (FLECK, 2010, p. 84).

Nesse sentido, um indivíduo, ainda que não esteja consciente, é influenciado pelo Estilo de Pensamento que exerce papel coercitivo no pensamento do autor do conhecimento. Desse modo, qualquer contradição ao Estilo de Pensamento, torna-se impensável. Como exemplo, Fleck relata que a reação de Wassermann também passou por um processo de trabalho coletivo, e não individual.

Sendo assim, o processo de construção do conhecimento humano depende de condições sociais, políticas, econômicas, culturais. Os pensamentos dentro de uma comunidade circulam, são lapidados, alterados, reforçados ou suavizados e irão influenciar outros conhecimentos, opiniões, conceitos e hábitos de pensar. Fleck (2010) enfatiza que o ‘conhecer’ somente é possível dentro de um Coletivo de Pensamento.

O Estilo de Pensamento pode ser entendido como a percepção do indivíduo, a qual ocorre por meio da assimilação do que foi percebido. Assim, não existe a possibilidade de perceber de forma neutra, uma vez que perceber implica adotar uma perspectiva. Dentro de uma comunidade, o Estilo de Pensamento recebe fortalecimento social e transforma-se em coerção em direção a determinado Estilo de Pensamento, induzindo o indivíduo a pensar como o coletivo pensa (FLECK, 2010).

Podemos, portanto, definir o estilo de pensamento como percepção direcionada em conjunção com o processamento correspondente no plano mental e objetivo. Esse estilo é marcado por características comuns dos problemas, que interessam a um coletivo de pensamento; dos julgamentos, que considera como evidentes e dos métodos, que aplica com meios do conhecimento. É acompanhado, eventualmente, por um estilo técnico e literário do sistema do saber (FLECK, 2010, p. 149).

Segundo Fleck, o Estilo de Pensamento pode ser avaliado pela percepção, ou seja, a maneira como se enxerga algo. Assim, explica o médico epistemólogo que “a coerção de pensar, o hábito de pensar, ou pelo menos uma aversão pronunciada contra qualquer pensamento alheio ao estilo de pensamento vigia a harmonia entre a aplicação e o estilo de pensamento” (FLECK, 2010, p. 156).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A proposta desta pesquisa foi investigar quais foram os *pressupostos, fatores e contextos científico e histórico* que levaram Linus Pauling a construir sua compreensão sobre a ligação química e estrutura das moléculas. Esse delineamento da História da Química compõe o início da carreira de Linus Pauling como pesquisador, se refere, portanto, a primeira metade do século XX. Esta pesquisa foi desenvolvida com suporte da epistemologia de Ludwik Fleck e sua ideia de historicidade da ciência, a qual se contrapõe ao positivismo lógico. Desse modo,

utilizou-se Fleck (2010) como fundamentação teórica e sua epistemologia como método de análise dessa historiografia.

Numa tentativa de apresentar de modo mais objetivo os achados desta investigação, em relação aos **pressupostos** que levaram Linus Pauling a construir sua compreensão sobre a ligação química e estrutura das moléculas, compreendemos esse termo como sinônimo de *pensamento inicial*. Assim, tentamos explicar como Linus Pauling percebia a ligação do par de elétron compartilhado, a qual mais tarde formalizaria o seu estilo de pensamento. Primeiramente, Pauling possuía a compreensão que um par de elétron formaria uma ligação. Esta compreensão o levou a acreditar que a teoria quântica poderia confirmar tal pressuposição. No início do século XX, a química, assim como toda ciência, era muito influenciada pela visão de ciência empírica, logo havendo uma valorização exacerbada da experimentação. Já trazendo uma nova compreensão sobre a ciência, numa visão menos empírica, Pauling acreditava que era necessário um tratamento teórico para consolidar a teoria da ligação.

No que se refere aos **fatores** que levaram Linus Pauling a construir sua compreensão sobre a ligação química e estrutura das moléculas, buscamos definir quais foram os fatores que contribuíram para que a teoria da ligação fosse formalizada. Um primeiro fator foi ter o Dr. Arthur Amos Noyes como apoio, especialmente no início de sua carreira. Possivelmente, Noyes compartilhava do mesmo *pensamento inicial* que Pauling sobre a teoria de ligação, pois conheceu as ideias de Lewis quando ambos trabalharam juntos na mesma instituição e, desse modo, Noyes acreditou no potencial de tal pesquisa por ter interesses em comum. Outro fator de apoio a Pauling, foi ter viajado para a Europa, numa época em que o contato pessoal era muito mais necessário, uma vez que não haviam os meios de comunicação que temos hoje, como a Internet. Assim, Pauling teve a oportunidade de conhecer o 'Estilo de Pensamento' sobre a teoria quântica, diretamente com os pesquisadores que a estavam estudando. Como exemplo, os cientistas Heisenberg, Schrödinger, Pauli, Dirac, Heitler, London, Sommerfeld etc. Pauling, inclusive, assistiu a defesa de doutorado de Heitler. De acordo com Nascimento (2008), o trabalho de Heitler e London mostrou que a molécula de hidrogênio ( $H_2$ ) poderia ser mais estável que os átomos isolados. Heitler e London mostraram que a energia potencial para um sistema  $H_2$  exibia um valor mínimo de energia menos que a soma dos átomos isolados, então a formação da molécula de hidrogênio era mais provável

de acontecer do que os átomos permanecerem isolados. Tais fatores marcaram o início da química quântica.

Em relação aos **contextos científico e histórico** que levaram Linus Pauling a construir sua compreensão sobre a ligação química e estrutura das moléculas, a teoria quântica era o novo 'Estilo de Pensamento' da ciência. Foi iniciada no começo do século XX, com abordagem de Max Planck, sendo explorada por Albert Einstein e Niels Bohr. Após duas décadas, passou por uma reformulação com Heisenberg (com o princípio da incerteza), nos anos 1925 e 1926, ano da viagem de Pauling para a Alemanha. Logo, tal cientista estava no centro da produção científica da época, no epicentro do novo estilo de pensamento que marcaria o início de uma nova era na ciência moderna.

Para além destes questionamentos basilares desta pesquisa, também foram observadas algumas respostas a outras questões que nortearam nossa investigação. Como exemplo, *quais as fontes utilizadas pelo cientista, quais foram os seus contemporâneos que contribuíram para a construção do conhecimento científico relacionado à ligação química*. Também foi investigado de quais 'Coletivo de Pensamento' Linus Pauling recebeu influências e o que constituiu como problema de pesquisa para o cientista.

Sobre as **fontes** utilizadas por Linus Pauling, estas foram os artigos de Lewis do ano de 1916, a respeito do conceito do par de elétrons que fundamentava a ligação química, bem como os artigos de Irving Langmuir de 1919 e 1920. Foi Irving Langmuir que introduziu o termo 'covalente', trazendo expansão das estruturas das moléculas. Em especial, este pesquisador juntou o conhecimento científico de dois Coletivos de Pensamento distintos (de químicos e de físicos) para formalizar o entendimento sobre a ligação covalente. A partir destas *duas fontes*, Pauling começou a compartilhar do mesmo Coletivo e Estilo de Pensamento sobre a estrutura das ligações. Nesse sentido, vemos a importância da influência recíproca de pensamentos, tal como ocorreu com Linus Pauling ao ler os artigos de Lewis e Langmuir, fato que instigou seu problema de pesquisa e decorrente contribuição para a 'Natureza da Ligação Química'. Posteriormente, Pauling se aproximou de Gilbert Lewis e ambos realizaram um trabalho cooperativo, ao trocar ideias e discutir sobre a aplicação da teoria quântica para a ligação química. Caracterizando assim, uma Circulação Intercoletiva de Ideias (ou Tráfego Intercoletivo de Ideias).

A circulação de pensamentos dentro do Círculo Esotérico, tal como ocorreu entre Linus Pauling e Gilbert Lewis, nos remete a ideia de Coletivo de Pensamento e de Estilo de Pensamento, presentes na obra 'Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico' de Ludwik Fleck. O apontamento de tais termos remete a natureza coletiva da pesquisa científica, pois a ciência deve ser compreendida como um processo de trabalho coletivo. Assim, uma comunidade científica percebe problemas e articula soluções a partir dos valores e das práticas do sistema de referência ao qual está inserida (FLECK, 2010).

Os relatos de Linus Pauling sobre seus **contemporâneos**, bem como as correspondências trocadas entre ambos cientistas (Pauling e Lewis) nos revelam que ao compreender sobre a ligação química, Pauling pertencia **ao mesmo Coletivo de Pensamento de Lewis** e colaborou para formação do estado do conhecimento químico, referente à ligação covalente. Ou seja, um novo Estilo de Pensamento.

Ademais, o **problema de pesquisa** de Pauling era compreender quais forças mantinham os átomos juntos para formar as moléculas e também como essas forças davam formas e qualidades particulares para as moléculas. Tal problema se constituía análogo ao problema de pesquisa na época, ou seja, compreender como os átomos se uniam para formar as moléculas.

Além disso, os **debates** envolvidos naquele período influenciaram Linus Pauling a estudar a teoria quântica e buscar respostas para a estrutura da ligação. Já que havia rumores entre o Coletivo e Estilo de Pensamento dos físicos europeus, que a teoria de valência não era suficiente para explicar as demandas físicas. Esse confronto de pensamento, aproximou Pauling de Lewis de modo que houve um fortalecimento para aceitação da teoria de ligação.

Linus Pauling circulou por dois Coletivos de Pensamentos e dessa maneira, contribuiu para a história da química ao explicar sobre a 'Natureza da Ligação Química' a partir de um novo modelo atômico, aquele baseado na mecânica quântica. Recebeu orientação de Arnold Sommerfeld na Europa e esteve em meio ao tráfego Intercoletivo de ideias, sendo inserido no novo Coletivo e Estilo de Pensamento sobre a física moderna e assim, contribuiu para a construção do conhecimento sobre a ligação covalente.

Linus Pauling também introduziu novos termos na Química, como hibridização de orbital e ressonância, os quais refletiam traduções da teoria

quântica. A partir destes termos, Pauling conseguiu explicar sobre energia de ligação, ângulo e geometria das moléculas. Estes conceitos foram aceitos pelo Coletivo de Pensamento de químicos, consolidando um novo estado do conhecimento químico, o qual introduziu a química na teoria quântica. Assim, compreendemos que o **legado** deixado por Pauling para a química foi a compreensão sobre a estrutura molecular. As aplicações deste conhecimento se expandiram para toda a ciência, dando possibilidade para a constituição do campo de estudo sobre biologia molecular e compreensões sobre a estrutura de moléculas complexas, como proteínas e mais tarde, o DNA.

#### 4.1 POTENCIALIDADES, DIFICULDADES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sobre as potencialidades, a experiência de utilizar a epistemologia de Fleck como fundamentação e análise epistemológica em uma história da química foi excelente, pois pude reconhecer mais uma vez que a ciência se constrói socialmente, a partir de muitos cientistas, passa por um longo processo de idas e vindas, debates, confrontos, condicionamento social. É influenciada por fatores externos, como exemplo nessa pesquisa houve o crescimento da indústria farmacêutica no início do século XIX, o que impulsionou o avanço das pesquisas na Química Orgânica, sendo necessário conhecer as estruturas dos compostos e assim, emergiu a noção de valência como uma Protoideia da ligação química. Quanto ao condicionamento social, nesta pesquisa ocorreu amizade entre Linus Pauling e Gilbert Lewis, trabalho cooperativo na pesquisa entre eles. Também houve inimizade entre Gilbert Lewis e Irving Langmuir, concorrência pelo Prêmio Nobel, falecimento de Lewis por infarto após ter que conviver com o rival. Fatos impressionantes que nos chocam e nos deixam mais interessados pela pesquisa em História, Filosofia e Sociologia da Ciência.

Dessa maneira, a utilização da epistemologia fleckiana foi possível de ser aplicada para a Química e me deu muita ancoragem para análise dos fatos históricos. Única questão é que no caso de estudo de como foi construído certo conhecimento químico, não há circulação do saber popular para o saber especializado. Ou seja, não é identificado a Circulação Intracoletiva de ideias, somente circulação dentro do saber especializado. Talvez pesquisas com interesse

neste viés não seja possível para a Química, devido sua característica de alta abstração.

Em relação às dificuldades, em certa medida a epistemologia de Fleck me trouxe algumas dificuldades nas análises dessa pesquisa. Num primeiro momento, antes da qualificação, tinha dificuldade de realizar a leitura da história da ligação química a partir dos conceitos fleckianos. Observava com maior facilidade o caráter social, o trabalho coletivo dentro da história, mas a coerção de pensamento, por exemplo, era mais difícil de analisar. Tinha dúvidas com os conceitos de Fato Científico e Estilo de Pensamento. A partir da qualificação, com as dúvidas esclarecidas e com as sugestões de realizar uma leitura da história livre de enxergar conceitos fleckianos a todo momento, o cenário melhorou. Reli a obra 'Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico' várias vezes que já não tenho mais dificuldades nesse aspecto. Realizei as análises sempre com o livro do lado, me serviu como verdadeiro autor de ancoragem.

No entanto, vieram algumas dificuldades após a qualificação. Como exemplo, retirar a análise de conteúdo que realizei a partir de Bardin nas duas correspondências entre Pauling e Lewis e reconstruir a análise a partir da epistemologia fleckiana. Nesse sentido, foi bem difícil me desprender da análise de conteúdo que havia aprendido anteriormente. Contudo, a análise ficou muito mais encorpada e rica com utilização da epistemologia de Fleck nessas correspondências.

Quanto às limitações, considero que o principal fator de limitação é o pouco tempo para desenvolvimento e finalização dessa pesquisa. Já que a pesquisa é realizada junto com disciplinas obrigatórias que precisamos fechar créditos, congressos que participamos com apresentações de trabalhos, preparação de workshop, participação em escolas de História da Ciência, atividades do grupo de pesquisa, escritas de artigos, realização de Prática de Docência. Enfim, a vida acadêmica no mestrado é mesmo repleta de afazeres com prazos curtos. Contudo, as demais situações não são limitantes. A pesquisa documental é facilitadora, pois não envolve pesquisa com pessoas. Desse modo, não é necessária a aprovação no comitê de ética. Além disso, desde o período de pré-projeto para o processo seletivo não tive nenhuma dificuldade para encontrar documentos de Fontes Primárias. Inclusive, encontrei Fontes Primárias de outros cientistas no período em que estava estudando a temática de História da Ciência. Como exemplo, todas as

correspondências de Isaac Newton. Na ocasião que encontrei estes documentos, analisei quatro correspondências entre Newton e Leibniz e pude observar a construção coletiva ente ambos em torno das séries infinitas, as quais compreendi como Fato Científico. Foi meu primeiro ensaio historiográfico utilizando a epistemologia de Fleck. Também gostei muito de estudar sobre a construção coletiva do DNA, encontrei Fontes Primárias de Linus Pauling a respeito dessa história. Resumindo, a pesquisa documental é uma pesquisa promissora e sem custos financeiros.

Quanto à recomendação para trabalhos futuros, acredito que realizar pesquisas com história da química a partir da fundamentação e análise por epistemologia de Fleck é muito produtivo. Também é possível realizar trabalhos em busca de 'Estilo de Pensamento' a respeito de determinado conhecimento científico. Por exemplo, qual o estilo de pensamento sobre a ligação química presente nos livros didáticos do ensino médio, ou da educação superior? Outra possibilidade é investigar a aproximação da epistemologia de Fleck para a Educação em Ciências, ou ainda para a Educação em Química.

Quanto à Teoria da Ligação, estudos sobre esta teoria podem ser ainda explorado, pois no processo de sua construção ocorreu uma rivalidade acirrada com a Teoria do Orbital Molecular. Houve muita crítica do Coletivo de Pensamento dos físicos teóricos, o qual afirmava que a Teoria da Ligação já nascia refutada. Estudos sobre essa controvérsia com base na historicidade da ciência com suporte da epistemologia de Fleck seria muito interessante.

## REFERÊNCIAS

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é a história da ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1994.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena Roxo (Eds). **Escrevendo a história da ciência: tendências propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Livraria Editora da Física, 2004.

ARAUJO NETO, Waldmir Nascimento. A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 1, n. 7, p. 13-24, dez. 2007.

AULER, Décio; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, jun. 2001.

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

CISCATO, Carlos Alberto Mattoso et al. **Química**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2016, v.1: Ensino Médio.

CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão. Paradigma versus estilo de pensamento na história da ciência. In: \_\_\_\_\_. **Ciência, História e Teoria**. Belo Horizonte: Argvmentvm, 2005. p. 123-146. Disponível em: <<https://www.research.net/publication/319963248>>. Acesso em: 14 abril 2020.

\_\_\_\_\_. **Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência**. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012.

\_\_\_\_\_. **Um papel para a história: o problema da historicidade da ciência**. Curitiba: UFPR, 2017.

\_\_\_\_\_. Mutações no estilo de pensamento: Ludwik Fleck e o modelo biológico na historiografia da ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**. Brasília, v. 6, n. 1, p. 155-186, jul. 2018.

\_\_\_\_\_. Entrevista com Mauro Condé. **Em Construção: arquivos da epistemologia histórica e estudos de ciência**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 6, p. 316-323, 2019.

DELIZOICOV, Demétrio et al. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 52-69, jun. 2002.

FEYERABEND, Paul K. **Contra o método**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

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

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química: ensino médio**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016, v.1: ensino médio.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GIL-PÉREZ, et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GONÇALVES-MAIA, Raquel. **Linus Pauling: a natureza da ligação química**. 1ª ed. Lisboa: Edições Colibri, 2017.

GREEMBERG, Arthur. **Uma breve história da química: da alquimia às ciências moleculares modernas**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

GUGLIOTTI, Marcos. Irving Langmuir: o milagre da ciência. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 568-572, 2001.

HAGER, TOM. **Linus Pauling: and the chemistry of life**. New York: Oxford University Press, 1998.

HAHN, Hans; NEURATH, Otto; CARNAP, Rudolf. A concepção científica do mundo: o círculo de Viena. **Caderno de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 5-20, 1986.

HARRIS, Martha L. Chemical reductionism revisited: Lewis, Pauling and the physico-chemical nature of the chemical bond. **Studies in History and Philosophy of Science**. Toronto, v. 1, n. 39, p. 78-90, 2007.

HOLLAUER, Eduardo. **Química Quântica**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2011.

LAMBACH, Marcelo; MARQUES, Carlos Alberto. Lavoisier e a influência nos estilos de pensamento químico: contribuições ao ensino de química contextualizada sócio historicamente. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, São Paulo, v. 14, n. 1, 2014.

LEDERMAN, Norm G. et al. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, New Jersey, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LEWIS, Gilbert Newton. The atom and the molecule. **Journal of the American Chemical Society**. Washington, v. 38, n. 4, abril, 1916.

\_\_\_\_\_. **Valence and the structure of atoms and molecules**. New York: The Chemical Catalog Company, 1923.

LISBOA, Júlio Cezar Foschini et al. **Ser protagonista: química**. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016, v. 1: ensino médio.

LOPES, Cesar Valmor Machado. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica**. 2009. 185f. Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

MAKSIC, Zvonimir; ORVILLE-THOMAS, W. J. **Pauling's legacy: modern modelling of the chemical bond**. New York: Elsevier, 1999.

MARQUES, Deivid Marcio; CALUZI, João José. Desvendando o modelo atômico de Rutherford. In: **História da Ciência e Ensino: propostas, tendências e construção de interfaces**. Maria Helena Roxo Beltran, Fumikazu Saito, Rosana Nunes dos Santos e Wagner Wu. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009, p. 6-12.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MASSONI, Neusa Teresinha; MOREIRA, Marco Antonio. A epistemologia de Fleck: uma contribuição ao debate sobre a natureza da ciência. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 237-264, maio 2015.

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

MELZER, Ehrick Eduardo Martins; AIRES, Joanez Aparecida. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. Amazônia: **Revista de Educação em Ciências e Matemática**. Belém, v. 11, p. 62-77, jan./jun. 2015.

MOCELLIN, Ronei Clécio. Estilo de raciocínio e capilaridade técnico-cultural na química no século XVIII. **Scientia Studia**, São Paulo, v. 13, n. 14, p. 759-780, 2015.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andrea Horta. **Química: ensino médio**. 3. ed. São Paulo: Scipione, 2016, v. 1: ensino médio.

MOURA, Breno Arsioli. 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, jan./jun. 2014.

NASCIMENTO, Marco Antonio Chaer. The nature of the chemical bond. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 245-256, 2008.

NYE, Mary Yo. A carrer at the center: Linus Pauling and the transformation of chemical science in the twentieth century. In: International Workshop on the History of Chemistry, 2015, Tokyo. **Anais...** Corvallis: Oregon State University, 2015. p. 77-89.

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

\_\_\_\_\_. O conceito de valência em livros didáticos de química geral entre as décadas de 1890 e 1940. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 237-248, nov. 2019.

NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; ANTUNES, Murilo Tissoni. **Vivá: química**. Curitiba: Positivo, 2016, v. 1: ensino médio.

OREGON STATE UNIVERSITY. Corvallis: Oregon State University (OSU), 1925-1954. Disponível em: <<http://scarc.libray.oregonstate.edu/>>. Acesso em: 23 abril 2020.

PARREIRA, Márcia Maria Martins. **Ludwik Fleck e a historiografia da ciência: diagnóstico de um estilo de pensamento segundo as ciências da vida**. 2006. 204f. Dissertação (mestrado em história) - Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PAULING, Linus. The shared-electron chemical bond. **National Academy of Science**, Pasadena, v. 14, n. 4, p. 359-362, abril 1928.

\_\_\_\_\_. The nature of the chemical bond: application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 53, n. 4, p. 1367-1400, 1931.

\_\_\_\_\_. The nature of the chemical bond: 1992. **Journal of the Chemical Education**, Washington, v. 69, n. 7, p. 519-521, 1992.

PEREIRA, Cássia Ferreira Coutinho et al. Contextualização histórico-filosófica de orbitais atômicos e moleculares. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 18-35, 2017.

PEREIRA, Letícia S.; SILVA, José Luís P. B. Uma história do antiatomismo: possibilidades para o ensino de química. **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 40, n. 1, p. 19-24, fev. 2018.

- PFUETZENREITER, Márcia Regina. A epistemologia de Ludwik Fleck como referencial para a pesquisa no ensino na área de saúde. **Ciência e Educação**. Bauru, v. 8, n. 2, p. 147-159, 2002.
- SANTOS, Wildson Luiz Pereira et al. **Química cidadã**. 3. ed. São Paulo: Editora AJS, 2016, v. 1: ensino médio.
- SCHÄFER, Lothar; SCHNELLE, Thomas. Fundamentação da perspectiva sociológica de Ludwik Fleck na teoria da ciência. In: FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. p. 1-36.
- SCHMIDT, Timothy W. et al. The electronic structure of benzene from a tiling of the correlated 126-dimensional wavefunction. **Nature Communications**, Sydney, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41467-020-15039-9>>. Acesso em: 14 abril 2020.
- SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.
- SIMÕES, Ana. A quantum chemical dialogue mediated by textbooks: Pauling's nature of the chemical bond and Coulson's Valence. **Notes & Records of The Royal Society**, London, v. 1, n. 62, p. 259-269, 2008.
- SOUTO, Caio. O problema do estilo de pensamento: entre sociologia das ciências e epistemologia histórica. **Revista Interdisciplinar em Cultura e Sociedade**, São Luís, v. 5, n. 2, p. 372-404, jul./dez. 2019.
- TOMA, Henrique, E. Ligação química: abordagem clássica ou quântica? **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 8-12, 1997.
- VIANA, Hélio Elael Bonini. Aspectos da natureza da ciência nas pesquisas de Irving Langmuir (1881-1957) relacionadas com a estrutura da matéria. In: MOURA, B. A. and FORATO, T.C.M, **Histórias das ciências, epistemologia, gênero e arte: ensaios para a formação de professores**. São Bernardo do Campo: editora UFABC, 2017. p. 37-51.
- WHITE, Florence Meiman. **Linus Pauling: scientist and crusader**. New York: Walker and Company, 1980.

## APÊNDICE 1 – QUANDO COMPREENDI O ESTILO DE PENSAMENTO

O artigo intitulado “A Construção Coletiva do Conhecimento Científico sobre a Estrutura do DNA”, de Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005), utiliza a epistemologia fleckiana para interpretar a história da construção coletiva da dupla hélice do DNA. Dessa maneira, é apresentado o processo de construção do conhecimento científico pesquisado. O que mais me chamou atenção nessa interpretação da história do DNA foi a explicação sobre os conceitos “Coletivo e Estilo de Pensamento”, da epistemologia de Fleck (2010). Como exemplo, desde o século XIX, já havia o conhecimento sobre a hereditariedade e, inclusive, Friedrich Miescher (1844-1895), extraiu pela primeira vez o “DNA”, o qual chamou de nucleína. No entanto, Miescher nunca percebeu a nucleína como portadora de informação genética e seu trabalho foi pouco relevante para o meio científico da época. O Estilo de Pensamento daquela comunidade científica acreditava que as proteínas eram as moléculas com estruturas mais complexas e, por isso, candidatas a portadoras do material genético. Desse modo, o estado do conhecimento não permitiu que os cientistas percebessem a importância de investigar a estrutura do DNA. Diante deste fato, Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005) interpretam, a partir de Fleck (2010), que o Estilo de Pensamento exerceu uma força coercitiva que desmotivou os cientistas a pesquisarem sobre o DNA. Isso ocorre, pois ao olhar para o objeto a ser conhecido, o(a) membro de determinado Coletivo, apresenta um Estilo de Pensamento que o(a) orienta como olhar. Ou seja, os cientistas não perceberam que o papel do DNA na hereditariedade jamais poderia ser compreendido se não fosse entendida a sua estrutura. Por volta de 1930 e 1940, cientistas da química e da física entraram no campo das estruturas das moléculas complexas e começou a surgir uma ideia vaga sobre a complexidade da estrutura do DNA. A partir de 1950, com muita articulação e modificações do Estilo de Pensamento, vários cientistas das mais diferentes especialidades estavam interessados no estudo sobre o DNA. Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005) narram que houve três laboratórios de grande influência para a Ciência ocidental que concorreram para a primeira publicação da estrutura do DNA. Estes foram: 1) o Instituto de Tecnologia de Califórnia (Caltech) com orientação de Linus Pauling; 2) King’s College de Londres, grupo de pesquisa de Maurice Wilkins e Rosalind Franklin e 3) Cavendish da Universidade de Cambridge, onde trabalhavam James Watson e Francis Crick. Essa História da Ciência apresenta o entrelaçamento entre

a química, a física e a biologia, o qual foi decisivo para a aceitação do modelo de dupla hélice para o DNA como um Fato Científico. Os primeiros modelos da estrutura molecular do DNA sugeriam as bases, Adenina, Guanina, Citosina e Timina, do lado de fora da hélice. Houve ainda, o modelo de tripla hélice entrelaçadas. O modelo da dupla hélice, publicado na revista Nature em abril de 1953, teve grande aceitação no meio científico, o círculo esotérico, o qual intensificou os estudos sobre o DNA e suas tecnologias. No entanto, olhando para a história, na perspectiva da epistemologia de Fleck, percebe-se que esse modelo foi resultado de investigações de várias décadas e de muitos pesquisadores. Houve também, circulação de ideias interdisciplinares para que o DNA pudesse ser investigado. Assim, torna-se possível enxergar que a ciência não é pronta e acabada, dona de verdade absoluta, mas sim uma construção social desenvolvida por um coletivo de sujeitos e permeado por uma história. Ao interpretar os relatos da história do DNA, com a epistemologia de Fleck, Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005) se opõem à concepção positivista de ciência, aquela que reforça imagens de precursores, gênios e descobridores de fatos científicos. Nesse sentido, é necessário olhar para o processo de construção do conhecimento científico e não para seus produtos finais. De mesma forma, é possível compreensão da construção social da estrutura do DNA como um trabalho coletivo desenvolvido a partir de vários pesquisadores ao longo de várias décadas.

Escolhi esse artigo para estudo e comentários porque Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005) discutem exemplificações dos conceitos de Fleck, autor de ancoragem na minha pesquisa de mestrado sobre a história da construção coletiva da ligação covalente. Dessa maneira, o referido artigo pode trazer argumentos do epistemólogo que quero utilizar como modelo para análise historiográfica. De mesma forma, enfatizo a relevância da construção coletiva no trabalho científico, defesa central de Fleck (2010) e de Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005).

Além da epistemologia de Fleck, pesquisa como Linus Pauling desenvolveu os seus estudos sobre a teoria da ligação, conjuntamente com Lewis, Langmuir etc. dentro da história do conhecimento da Química do século XX. Logo, o artigo de Scheid, Ferrari e Delizoicov (2005) possui um valor didático para a análise historiográfica que quero realizar.

Ademais, Demétrio Delizoicov é pesquisador em educação científica e tecnológica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Foi professor e

orientador de alguns dos meus professores do programa de pós-graduação o qual pertencço. Delizoicov *et al.* (2002) realizam uma aproximação da epistemologia de Fleck com a Educação em Ciências. Dessa maneira, apontam que é preciso trazer na formação de professores uma imagem mais real sobre o trabalho científico, pois a maneira como o professor de ciências enxerga a natureza da ciência influenciará no modo como ensina essa ciência. O grupo de professores de Santa Catarina possui a característica peculiar de utilizar a epistemologia de Ludwik Fleck para o Ensino de Ciências (Química, Física, Biologia, Geociências etc.).

As pesquisas com epistemologia da ciência iniciaram leituras a partir da obra de Thomas Kuhn, “A Estrutura das Revoluções Científicas”, publicada no ano de 1962. Esta, se tornou sucesso, sendo uma das mais lidas no meio científico e para divulgação científica, inclusive o termo “quebra de paradigma” é conhecido em vários campos de atuação. Kuhn foi o principal disseminador de Fleck ao citá-lo no prefácio do seu livro, o qual afirmou que este antecipou muito de suas ideias e o alertou sobre a importância do trabalho coletivo na ciência (CONDÉ, 2017).

Thomas Kuhn realizou análises epistemológicas de fatos históricos da Física e da Química em sua obra principal. Esse autor, seguiu um modelo de análise semelhante ao utilizado por Fleck em “Gênese e Desenvolvimento de Um Fato Científico”, ao analisar a história da Sífilis. Por referenciar Fleck apenas no prefácio de seu livro, Kuhn foi centro de forte polêmica, sofrendo duras críticas. Até o final da sua vida, Kuhn tentou explicar seus pressupostos aos leitores de sua obra. Quanto mais tentava explicar seus conceitos, mais Kuhn se aproximava de Fleck (KUHN, 2011). A principal diferença entre os dois epistemólogos, de acordo com Condé (2018), é a maneira de perceber as mudanças nas teorias científicas. Em Kuhn, a ciência ocorre em tempo de ciência paradigmática (ciência normal, sem crises) e de ciência extraordinária (com presença de anomalias, crises, controversas), sendo que essas crises acontecem por meio de rupturas abruptas, conhecidas como quebra de paradigmas, representando as revoluções científicas. Em Fleck, o modelo epistemológico é um modelo biológico apoiado pela ideia da teoria da evolução das espécies. Nesta, o processo de mudança é mais lento e gradativo, sendo, portanto, o Estilo de Pensamento alterado ao longo do tempo com circulação de ideias entre os meios.

Os assuntos dissertados aqui pertencem à fundamentação teórica da minha pesquisa e são relevantes para a linha de pesquisa de História, Filosofia e

Sociologia da Ciência, bem como para a área de Educação em Ciências com as aproximações da epistemologia. Tais fundamentações me ajudaram a compreender o conceito de Estilo de Pensamento, o mais desafiador na epistemologia de Ludwik Fleck.

## REFERÊNCIAS

CONDÉ, Mauro Lúcio Leitão. **Um papel para a história: o problema da historicidade da ciência**. Curitiba: Editora UFPR, 2017.

\_\_\_\_\_. Mutações no estilo de pensamento: Ludwik Fleck e o modelo biológico na historiografia da ciência. **Revista de Filosofia Moderna e Contemporânea**, Brasília, v.6, n.1, jul. 2018.

DELIZOICOV, et al. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, número especial, p.52-69, jun. 2002.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. 11 ed. São Paulo: Perspectiva, 2011.

SCHEID, Neusa Maria John; FERRARI, Nadir; DELIZOICOV, Demétrio. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n.2, p. 223-233, 2005.

## ANEXO 1 – DOCUMENTO ORIGINAL DE FONTE PRIMÁRIA

Correspondência de Linus Pauling para Gilbert N. Lewis em 07 de março de 1928.

March 7, 1928

Professor G. N. Lewis,  
Department of Chemistry,  
University of California,  
Berkeley, Calif.

Dear Professor Lewis:

You have no doubt seen London's recent paper in the *Zeitschrift für Physik* and have observed that the results which he derives from the quantum mechanics regarding the sharing of electrons are in the main equivalent to the rules which you had previously postulated. It is, of course, your prerogative to point this out; but in the belief that you would probably not do so, I have taken the liberty of referring to the fact in the first part of a note concerning some further developments of the theory which has been sent to the Proceedings of the National Academy (a copy is enclosed). If this does not meet with your approval I shall make the changes you desire. In the longer article for the *Journal of the American Chemical Society* I shall point out in more detail the substantiation given your theory by the quantum mechanics. It pleases me very much that in the new atomic model the salient features of the Lewis atom have been reproduced as much as those of the Bohr atom.

In the lectures which I have been giving this year on wave mechanics with chemical applications, I have reviewed thoroughly the work on the hydrogen molecule and molecular ion, and have corrected several significant errors. In addition I have carried through the calculations giving the interaction of two helium atoms. Professor Noyes has suggested that this material should perhaps be published in *Chemical Reviews*, and I have written Professor Went to see if he wishes it for the May issue. This quantitative treatment of the simplest molecules is fundamental to the later consideration of the chemical bond in general.

I have translated the dissertation of Goudsmit, and together we are now enlarging it to form a monograph "The Atomic Model and the Structure of Line Spectra", which will, I think, appear during the summer. I worked with Goudsmit on Copenhagen on spectral problems, and have found a knowledge of spectral theory very useful in attacking the problem which interests me most - the nature of the chemical bond.

Sometime during the summer I shall drive from here to Oregon, and I hope to have the pleasure of talking with you then. The seeds of advice which you plant bear fruit; as witness our departure for Europe early in 1926.

Sincerely,

## ANEXO 2 – DOCUMENTO ORIGINAL DE FONTE PRIMÁRIA

Correspondência de Gilbert N. Lewis para Linus Pauling em 01 de maio de 1928.

GILBERT N. LEWIS

UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
BERKELEY, CALIFORNIA  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

May 1, 1928.

Professor Linus Pauling,  
California Institute of Technology,  
Pasadena, California.

My dear Pauling:

I am getting to be an abominable correspondent, but I hope this will not discourage you from writing to me from time to time, as you have done, and telling me of the things you are doing. When I received your recent letter I meant to reply in some detail regarding the paper which you were good enough to enclose and which I have just seen in the Proceedings. I have been wanting to think about these things myself, but just at present I have been entirely submerged in problems of quantum statistics with Dr. Mayer. Whether we shall get anywhere is a problem.

I was, however, very much interested in your paper as I had been in London's, and there is much in both papers with which I can agree. The success of Pauli's principle in the interpretation of complex spectra seemed to leave the physicists no excuse for not accepting in its entirety the theory of paired electrons, coupled, whether or not they constitute a bond, *(by)* the mutual neutralization of their magnetic moments; and it will be interesting to see whether it is going to be possible to obtain any facts from the Pauli principle or from the new mechanics regarding chemical compounds which are not known to or not yet interpreted by chemists. Of course the fundamental problem after the pairing of electrons is accepted is this: why can we have only one pair in the K shell and only four pairs in the L shell, etc.?

*not by  
but with,  
perhaps*

I am sorry that in one regard my idea of valence has never been fully accepted. It was an essential part of my original theory that the two electrons in a bond completely lose their identity and can not be traced back to the particular atom or atoms from which they have come; furthermore that this pair of electrons is the only thing which we are justified in calling a bond. Failure to recognize this principle is responsible for much of the confusion now prevailing in England on this subject, where they still talk of polar bonds and semi-polar bonds, and so on. I think in London's paper and in yours a little too much emphasis is placed upon the origin of the paired electrons.

I am sure that you and London are wrong in thinking that hydrogen does not have two bonds, but this is because

Continuação da correspondência de Lewis para Pauling em 01 de maio de 1928.

-2-

L-level,  
not effective,  
as effective  
nuclear charge  
will be  
nearly zero  
if H has  
a K electron  
already  
shared

neither of you has considered the possibility that in a highly polar molecule the bond attaching hydrogen may not be in the K level of the hydrogen but in the L level. This question is discussed briefly in my book on "Valence."

I am going abroad for a short time this summer, but shall not leave Berkeley until the middle of June. I hope you will be coming through Berkeley before then and that I will have a chance to talk with you.

With kindest regards, I am,

Yours very sincerely,

*Robert Lewis*