

# Um Sistema Conceitual para Ligação Covalente na Perspectiva da Teoria Histórico-Cultural

## A Conceptual System for Covalent Bonding in the Perspective of Historical-Cultural Theory

**Lucas dos Santos Fernandes**

Universidade Federal do Vale do São Francisco/ Universidade Federal da Bahia  
lucas.fernandes@univasf.edu.br

**José Luis de Paula Barros Silva**

Universidade Federal da Bahia  
jose Luis@ufba.br

### Resumo

Este estudo apresenta um mapa conceitual do conceito de ligação de covalente construído a partir da teoria histórico-cultural de Vigotski, e em particular, da sua definição de conceitos científicos: generalizações conscientes, arbitrárias e sistemáticas. Nesta pesquisa, o aspecto sistemático dos conceitos científicos foi utilizado para analisar o conceito de ligação covalente através das relações que ele mantém com os demais conceitos necessários para sua definição e compreensão. Estabelecer corretamente as conexões entre os elementos do sistema conceitual é um passo importante para a aprendizagem de um determinado conceito. Em função disso, este trabalho mostra-se relevante para as pesquisas sobre o ensino do conceito de ligação covalente, pois diversas estratégias didáticas podem ser desenvolvidas levando-se em consideração a sistematicidade desse conceito.

**Palavras chave:** conceito científico, ligação covalente, sistema conceitual, mapa conceitual.

### Abstract

This study presents a conceptual map of the concept of covalent linkage constructed from Vygotsky's historical-cultural theory, and in particular, from his definition of scientific concepts: conscious, arbitrary, and systematic generalizations. In this research, the systematic aspect of the scientific concepts was used to analyze the concept of covalent bond through relations that it maintains with the other concepts necessary for its definition and understanding. Correctly establishing the connections among elements of the conceptual system is an important step in learning a particular concept. Therefore, this work is relevant for research on the teaching of the covalent link concept, since several didactic strategies can be developed taking into account the systematicity of this concept.

**Key words:** scientific concept, covalent bonding, conceptual system, conceptual map.

## Introdução

Linus Pauling (1901-1994), um dos maiores cientistas do século XX, considerava ligação química o conceito mais valioso da Química (PAULING, 1992). Esse conceito é essencial tanto para a compreensão das reações químicas e seus respectivos mecanismos, quanto para o entendimento da estrutura da matéria.

Apesar da relevância, diversas pesquisas identificaram um grande número de concepções alternativas (concepções dos estudantes que diferem do que é estabelecido pela comunidade científica) associadas a esse conceito (FERNANDES; CAMPOS, 2012). Em relação à ligação covalente, foram identificadas as concepções alternativas:

- (i)- Uma ligação covalente é estabelecida entre dois átomos que usam um par ou mais pares de elétrons livres;
- (ii)- Cada átomo em uma molécula estável deve obedecer à regra do octeto, especialmente o átomo central;
- (iii)- Uma ligação covalente será polarizada se as afinidades eletrônicas de ambos os átomos são diferentes;
- (iv)- A forma molecular depende da quantidade de átomos que estão ligados ao átomo central da molécula;
- (v)- Todas as ligações em uma molécula polar são polares, enquanto que todas as ligações em uma molécula não polar são apolares;
- (vi)- O número de ligações de uma molécula depende da eletronegatividade. (ERMAN, 2017, p. 9)

Segundo Erman (2017), as concepções alternativas sobre ligação covalente surgem no contexto da aprendizagem escolar e podem ter como principais causas: os professores (falhas de comunicação), os alunos (pensamento abstrato limitado) e os materiais didáticos (informações incorretas).

O enfrentamento de tais problemas exige que o docente ensine a ligação covalente de modo claro, explicitando seu conceito de modo coerente com o aceito pela comunidade dos químicos, assim como os conceitos que lhe estão vinculados, trabalhando sua dimensão concreto-abstrato. Então, nos questionamos: Que conceitos são necessários à definição e à compreensão do conceito de ligação covalente e como encontram-se articulados? A resposta a essa questão consiste em um mapa conceitual construído a partir da caracterização do conceito de ligação covalente como um conceito científico e das relações que ele mantém dentro de um sistema conceitual.

## Sistemas conceituais na perspectiva histórico-cultural

De acordo com Vigotski (2009), os conceitos são unidades indecomponíveis do pensamento e da linguagem. Como ato do pensamento, os conceitos são generalizações, ao passo que, do ponto de vista linguístico, eles correspondem ao significado das palavras.

Os conceitos podem ser classificados como espontâneos e científicos. De uma forma geral, os conceitos espontâneos são assimilados a partir de experiências cotidianas dos indivíduos, de modo assistemático e sem clara explicitação verbal. Por outro lado, os conceitos científicos são introduzidos em ambientes de aprendizagem formais ou informais, sistematicamente e verbalmente explícitos.

O conceito de ligação covalente é introduzido no ambiente escolar e está situado fora das experiências cotidianas dos estudantes. Apesar do termo *ligação*, que o compõe, possuir significado espontâneo, o adjetivo *covalente* não costuma ser utilizado fora do contexto químico, de modo que, *ligação covalente* pode ser classificado como um conceito científico.

Segundo Vigotski (2009), os conceitos científicos apresentam as seguintes características: alta

abstração, verbalização, sistematicidade e arbitrariedade.

Conceitos científicos são altamente abstratos porque não se referem a casos específicos — objetos, situações, eventos — mas a classes de casos. Estas se formam por separação dos traços comuns de vários casos que são reunidos em uma nova síntese. Ao se afastar das experiências concretas com os casos específicos, o conceito adquire alta abstração.

Conceitos científicos apresentam como ponto forte a explicitação, que se dá, geralmente, de forma verbal. Ao enunciar um conceito empregamos, necessariamente, outros conceitos de modo interligado, constituindo, assim, um sistema conceitual que engloba o conceito que o gerou. A sistematicidade é uma característica fundamental, pois estabelece hierarquia entre os conceitos científicos por meio das relações de generalidade que os conectam.

A arbitrariedade — ou voluntariedade (VIGOTSKI, 2009) — dos conceitos científicos é caracterizada pelo seu emprego de acordo com a escolha do indivíduo, sendo tal escolha justificada pela explicitação de vínculos entre elementos do seu sistema conceitual e elementos do contexto no qual está sendo empregado.

O pensamento é um todo integrado, de modo que, a aprendizagem de conceitos científicos pode contribuir para os conceitos espontâneos, fornecendo-lhes sistematicidade e verbalização, ao passo que os conceitos espontâneos podem contribuir para dar concretude aos conceitos científicos.

Vigotski (2009) compara o sistema conceitual com o sistema de coordenadas geográficas, localizando cada conceito em termos de longitudes e latitudes. A latitude de um conceito corresponde ao grau de concretude ou de abstração, ou seja, cada polo terrestre equivale a uma dessas dimensões, enquanto que a longitude representa as relações que o conceito mantém com outros conceitos de mesma latitude (BELLAS et al., 2015). A partir dessa metáfora e da sistematicidade típica dos conceitos científicos, pode-se construir um sistema conceitual para um determinado conceito utilizando-se mapas conceituais, entendidos como diagramas que mostram as relações entre conceitos. No mapa conceitual construído neste estudo, a latitude foi considerada igual para todos os conceitos, pois são conceitos científicos e apresentam aproximadamente o mesmo grau de abstração.

## Ligação Química Covalente

No início do século XX, acreditava-se que as ligações químicas eram formadas por meio da transferência de elétrons entre os átomos. Em 1913, surgiu a diferenciação entre três tipos de ligação química: polar (atualmente: ligação iônica), não polar (atualmente: ligação covalente) e metálica (LEWIS, 1913). O termo covalente foi introduzido por Langmuir em 1919.

Em 1916, Lewis propôs um mecanismo qualitativo para explicar a formação das ligações não polares (covalentes): o compartilhamento de elétrons, que foi corroborado pela teoria quântica posteriormente. Linus Pauling, na terceira edição de seu célebre livro, *The Nature of the Chemical Bond*, definiu ligação química do seguinte modo:

Há uma ligação química entre dois átomos ou grupos de átomos no caso que forças atuantes entre eles são tais que conduzem à formação de um agregado com suficiente estabilidade para o químico considerá-lo como uma espécie molecular independente. (PAULING, 1960, p. 6)

Essa definição foi adotada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), embora acrescida do que foi indicado como a “principal característica de uma ligação”:

Quando as forças atuantes entre dois átomos ou grupos de átomos

conduzem à formação de uma entidade molecular independente e estável, considera-se que existe uma ligação química entre estes átomos ou grupos. A principal característica de uma ligação em uma molécula é a existência de uma região entre os núcleos de contornos de potencial constante que permite que a energia potencial melhore substancialmente pela contração atômica às custas de apenas um pequeno aumento na energia cinética. (IUPAC, 2014a)

Pauling entendia que a ligação covalente “envolve o compartilhamento de elétrons pelos dois átomos ligados” (PAULING, 1960, p. 7-8), embora admitisse ligações em que pudesse ocorrer o compartilhamento de um ou três elétrons. Porém, ele avançou em termos quantum-mecânicos: “para formar uma ligação de par eletrônico são necessários dois elétrons com spins opostos e um orbital estável de cada um dos átomos ligados” (PAULING, 1960, p. 61), de modo que, os orbitais dos átomos que se ligam estejam sobrepostos. A sobreposição é entendida como “a extensão em que coincidem as regiões do espaço nas quais as duas funções de onda orbitais possuem grandes valores” (PAULING, 1960, p. 108). Quanto maior a sobreposição, maior a força da ligação.

A IUPAC (2014b, p. 344) concorda com tais ideias ao definir ligação covalente como “uma região de densidade eletrônica relativamente alta entre os núcleos que surge, ao menos parcialmente, do compartilhamento de elétrons e dá origem a uma força atrativa e a uma distância internuclear característica”.

A identidade das conceituações nos sugere a adoção das ideias de Pauling como referencial teórico para o estudo do sistema conceitual da ligação covalente e para a confecção de um mapa conceitual.

Não encontramos na literatura de Ensino de Ciências outros trabalhos que explorassem o mapeamento conceitual da ligação covalente nos termos aqui referidos, embora os mapas conceituais tenham sido empregados na pesquisa sobre o ensino e a aprendizagem da ligação química (por exemplo: BURROWS; MOORING, 2015) e vários estejam disponíveis na rede mundial de computadores.

O mapa conceitual construído e uma discussão sucinta sobre o sistema conceitual relativo ao conceito de ligação covalente são apresentados a seguir.

## Resultados e Discussão

A Figura 1, abaixo, apresenta o mapa conceitual construído sobre o conceito de ligação covalente. No centro do mapa conceitual é apresentado o conceito de ligação covalente, ao qual estão relacionadas cinco características dispostas de modo lateral.

Uma **ligação covalente** forma uma molécula ou um agregado atômico **estável**. O **compartilhamento de elétrons** é uma característica que distingue a **ligação covalente** dos demais tipos de ligação química (iônica e metálica). O compartilhamento ocorre quando os átomos que formam uma ligação covalente se aproximam e seus **orbitais se superpõem**. Os elétrons ocupantes dos orbitais superpostos passam a ser compartilhados pelos átomos que se ligam e **umentam a densidade eletrônica na região internuclear**.

A **estabilidade de uma ligação química** está vinculada à redução da energia dos átomos quando se unem: “o estado quântico estacionário do sistema que tem o menor valor de energia total, correspondendo à máxima estabilidade, é denominado estado normal” (PAULING, 1960, p. 11). A **energia** das ligações covalentes é, de acordo com Pauling (1960), proveniente

de dois fatores: **interação coulômbica** e **ressonância**. A fração de energia coulômbica é devida às atrações e repulsões entre elétrons e núcleos dos átomos que participam da ligação.

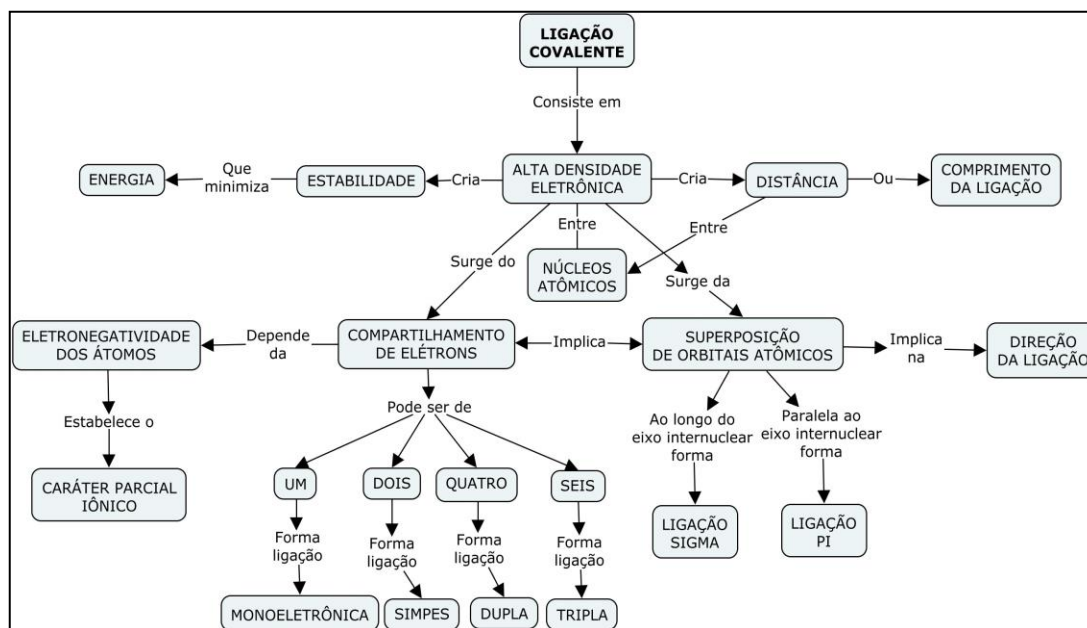


Figura 1: Mapa conceitual do conceito de ligação covalente.

A **ressonância** é entendida como um fenômeno quântico relacionado à troca de orbital pelos elétrons que participam da ligação. Pauling defende que esse movimento dos elétrons estabiliza o sistema diminuindo a energia total. Aproximadamente 80% da energia associada a uma ligação covalente devem-se à energia de ressonância. Essa interpretação realista da ressonância de Pauling não é consensual na comunidade científica. Walther Heitler (1956), um dos fundadores da Teoria da Ligação de Valência, discordava da interpretação de Pauling afirmando que a troca de orbitais é uma possibilidade prevista pelo formalismo da Mecânica Quântica, o que não quer dizer que corresponda, efetivamente, à realidade.

De acordo com Pauling (1960), um átomo pode compartilhar de um a seis elétrons. No caso do compartilhamento de apenas um elétron entre dois átomos, como na molécula-ion hidrogênio ( $H_2^+$ ), forma-se uma **ligação monoelétrica**. O tipo mais comum de ligação covalente ocorre quando dois átomos compartilham um par de elétrons. Nessa ligação, denominada **ligação covalente simples** (p. ex.:  $H-H$ ), os elétrons são provenientes de cada um dos átomos que participam da ligação. Uma **ligação covalente dupla** é formada quando dois átomos compartilham dois pares de elétrons (p. ex.:  $O=O$ ). Quando três pares de elétrons são compartilhados por dois átomos forma-se uma **ligação covalente tripla** (p. ex.:  $N\equiv N$ ).

A aproximação de dois átomos pode ocorrer em várias direções, conduzindo a diferentes modos de **superposição dos orbitais**. A magnitude da superposição dos orbitais define a força e a direção da ligação covalente: “de dois orbitais de um átomo, aquele que pode se sobrepor mais com um orbital do outro átomo irá formar a ligação mais forte com aquele átomo e, além disso, a ligação formada por um dado orbital tenderá a permanecer naquela direção em que o orbital está concentrado” (PAULING, 1960, p. 108). Quando a superposição de orbitais se dá ao longo do eixo internuclear dos dois átomos, temos o tipo mais comum de ligação covalente: a **ligação sigma**, no qual há compartilhamento de dois elétrons (p. ex.:  $H-H$ ). Entretanto, além da formação da ligação sigma, também pode haver formação simultânea de **ligação pi**, devido à superposição de orbitais atômicos que ocorre paralelamente ao eixo internuclear dos átomos. A ligação dupla é constituída por uma ligação sigma (mais forte) e

uma ligação pi, esse é o caso da molécula do gás oxigênio:  $O=O$ . Enquanto que a ligação tripla é formada por uma ligação sigma e duas ligações pi, como é verificado na molécula de gás nitrogênio ( $N\equiv N$ ).

Pauling introduziu a **direcionalidade** das ligações visando produzir a compatibilização da teoria quantum-mecânica da ligação com a teoria estrutural da química, que lhe era anterior. Em função disso, no intuito de explicar os **ângulos formados por ligações** em moléculas poliatômicas, a exemplo da água ou do metano, formulou o conceito de hibridização de orbitais. Um **orbital híbrido** é formado pela **combinação linear de orbitais atômicos**. A escolha adequada dos orbitais e dos coeficientes da combinação linear faz com que se possa obter diferentes distribuições do orbital híbrido no espaço e, desse modo, explicar as geometrias das estruturas das moléculas.

O **caráter iônico parcial** da ligação covalente está associado à **eletronegatividade**, definida por Pauling (1960, p. 88) como “uma propriedade qualitativa relacionada ao poder de um átomo, em uma molécula, atrair os elétrons para si”. Pauling (1960) admite a dificuldade de estabelecer uma relação quantitativa confiável entre o caráter iônico parcial e a diferença de eletronegatividade. Qualitativamente, uma ligação covalente formada por elementos químicos com diferentes eletronegatividades apresenta caráter iônico parcial com a concentração da carga negativa pelos átomos mais eletronegativos e da carga positiva pelos átomos menos eletronegativos. Quando a ligação covalente é formada por átomos do mesmo elemento químico ela não apresenta caráter iônico, pois não existe diferença de eletronegatividade.

O **comprimento** de uma ligação covalente corresponde à distância internuclear de equilíbrio dos átomos ligados, obtida em estudos estruturais por raios-X de cristais, difração de elétrons e espectroscopia molecular. Os comprimentos das ligações diminuem da ligação simples para a ligação dupla e para a ligação tripla.

As características das ligações covalentes destacadas no mapa conceitual não estão desconectadas entre si. O caráter iônico parcial de uma ligação faz com que a interação seja mais forte que seria numa hipotética ligação puramente covalente. Por isso, dá maior estabilidade à molécula, diminuindo a energia da ligação. O caráter iônico parcial também afeta o comprimento da ligação no sentido de torná-lo menor.

Pelo exposto verifica-se que todos os conceitos do mapa conceitual formam um sistema conceitual típico dos conceitos científicos.

## Considerações Finais

Nosso estudo teórico sobre o conceito de ligação covalente produziu um mapa conceitual no qual o conceito de ligação covalente está imerso em um sistema conceitual. Entendemos que com tal mapa atendemos ao objetivo de estabelecer quais conceitos são necessários à definição e à compreensão do conceito de ligação covalente e como encontram-se articulados.

O conhecimento deste sistema possibilita o trânsito entre seus diversos elementos por meio das relações de generalidade que constituem sua estrutura. Desse modo, torna-se possível escolher entre diferentes modos de percorrer o sistema de acordo com os modos que se pretende ensinar o conceito e em função dos objetivos didáticos a serem alcançados.

Conhecer as relações de generalidade do sistema possibilita apreciar sua intensidade e qualidade, de modo a estabelecer quais aspectos podem ser atenuados (ou até suprimidos) durante a transposição didática.

Tais possibilidades fazem com que o mapa conceitual seja considerado um instrumento

importante para a transposição didática e para o planejamento e avaliação do ensino.

## Referências

BELLAS, R. R. D.; GONZALEZ, I. M.; SILVA, J. L. P. B. Mapas conceituais em perspectiva histórico-cultural. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia, SP. **Atas...** Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2015.

BURROWS, N. L.; MOORING, S. R. Using concept mapping to uncover students' knowledge structures of chemical bonding concepts. **Chemical Education Research and Practice**, v. 16, p. 53-66, 2015.

ERMAN, E. Factors Contributing to Students' Misconceptions in Learning Covalent Bonds. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 54, n. 4, p. 520-537, 2017.

FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Pesquisas em Periódicos Nacionais e Internacionais Sobre o Ensino e Aprendizagem de Ligação Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 153-172, 2012.

HEITLER, W. **Elementary Wave Mechanics: With Applications to Quantum Chemistry**. Oxford: Clarendon Press, 1956.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. **Compendium of Chemical Terminology**, 2014a. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/html/C/CT07009.html>. Acesso em: 28/07/2018.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. **Compendium of Chemical Terminology**, 2014b. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/html/C/C01384.html>. Acesso em: 28/07/2018.

LEWIS, G. N. The Atom and the Molecule. **Journal of the American Chemical Society**, v. 38, n. 4, p. 762-785, 1916.

LEWIS, G. N. Valence and Tautomerism. **Journal of the American Chemical Society**, v. 35, n. 10, p. 1448-1455, 1913.

PAULING, L. **The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals: An Introduction to Modern Structural Chemistry**. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PAULING, L. The Nature of the Chemical Bond. **Journal of Chemical Education**. v. 69, n. 7, p. 519-521, 1992.

VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2009.