

Ensino de Ligações Químicas: uma Revisão Sistemática de Literatura

Amanda Chelly da Rocha¹ 
João dos Santos Cabral Neto² 

Resumo

O ensino de ligações químicas é fundamental para compreender como os átomos se combinam para formar inúmeras substâncias, permitindo, assim, o entendimento da estrutura e das propriedades dos materiais existentes. No entanto, esse conhecimento nem sempre é plenamente assimilado pelos alunos, evidenciando lacunas no processo de aprendizagem. Diante disso, realizamos uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com o objetivo de apresentar uma visão geral dos estudos que tratam da temática, focando nos conteúdos abordados, recursos utilizados e dificuldades enfrentadas pelos alunos. A RSL foi realizada no Portal de Periódicos da CAPES e na Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e os estudos selecionados foram discutidos por meio da técnica de análise de conteúdo. Os resultados mostraram que os conteúdos mais frequentes são os que compõem a natureza das ligações químicas. Em relação aos recursos utilizados, identificamos os seguintes: simulação, *software*, modelos, realidade aumentada, jogos, analogias, mapas conceituais, livro didático, práticas representacionais e o drama criativo. Quanto às dificuldades, estas foram reunidas nas seguintes categorias: pré-requisitos, concepções alternativas, aprendizagem superficial, conceitualização e linguagem química. Com isso, os estudos evidenciaram a importância de incluir outros conteúdos no ensino de ligações químicas, além de integrar diferentes recursos didáticos por meio da gamificação, e diligência quanto às dificuldades de aprendizagem.

Palavras-chave: química; processo de ensino-aprendizagem; revisão de literatura.

Teaching Chemical Bonds: a Systematic Literature Review

Abstract

The teaching of chemical bonds is fundamental to understanding how atoms combine to form countless substances, thus enabling an understanding of the structure and properties of existing materials. However, this knowledge is not always fully assimilated by students, revealing gaps in the learning process. In view of this, we carried out a Systematic Literature Review (SLR) with the aim of presenting an overview of studies dealing with the subject, focusing on the content covered, the resources used and the difficulties faced by students. The SLR was carried out on the CAPES Journal Portal and the Brazilian Library of Theses and Dissertations (BDTD) and the selected studies were discussed using the content analysis techniques. The results showed that the most frequent contents are those that make up the nature of chemical bonds. White regard to the resources used, we identified the following s: simulations, software, models, augmented reality, games, analogies, concept maps, textbooks, representational practices and creative drama. The difficulties were grouped into the following categories: prerequisites, alternative conceptions, superficial learning, conceptualization and chemical language. As a result, the studies highlighted the importance of including other content in the teaching of chemical bonding, as well as integrating different teaching resources through gamification, and diligence with regard to learning difficulties.

¹ Doutoranda em Ensino Tecnológico, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM. Professora na Secretaria de Educação e Desporto Escolar do Amazonas – SEDUC/AM. Manaus, Amazonas, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1722-4126>. E-mail: amanda.chellycmc@gmail.com.

² Doutor em Física, pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM. Manaus, Amazonas, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2430-233X>. E-mail: jneto@ifam.edu.br.

Keywords: chemistry; teaching-learning process; literature review.

Enseñanza de Enlaces Químicos: una Revisión Sistemática de la Literatura

Resumen

La enseñanza de los enlaces químicos es fundamental para comprender cómo se combinan los átomos para formar innumerables sustancias, permitiendo así la comprensión la estructura y propiedades de los materiales existentes. Sin embargo, estos conocimientos no siempre son plenamente asimilados por los estudiantes, lo que revela lagunas en el proceso de aprendizaje. Ante esto, realizamos una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) con el objetivo de presentar un panorama de los estudios que abordan el tema, centrándose en los contenidos tratados, los recursos utilizados y las dificultades que enfrentan los estudiantes. La RSL se realizó en el Portal de Revistas CAPES y en la Biblioteca Brasileña de Tesis y Disertaciones (BDTD) y los estudios seleccionados fueron discutidos mediante la técnica de análisis de contenido. Los resultados mostraron que los contenidos más frecuentes son los que conforman la naturaleza de los enlaces químicos. En relación a los recursos utilizados, identificamos los siguientes: simulación, software, modelos, realidad aumentada, juegos, analogías, mapas conceptuales, libro didáctico, prácticas representacionales y drama creativo. En cuanto a las dificultades, se agruparon en las siguientes categorías: prerrequisitos, concepciones alternativas, aprendizaje superficial, conceptualización y lenguaje químico. Con esto, los estudios demostraron la importancia de incluir otros contenidos en la enseñanza de los enlaces químicos, además de integrar diferentes recursos didácticos mediante la gamificación y la diligencia ante las dificultades de aprendizaje.

Palabras clave: química; proceso de enseñanza-aprendizaje; revisión de literatura.

Introdução

As ligações químicas são um tema de grande relevância no estudo da Química, pois possibilitam que os alunos compreendam como os átomos se combinam para formar moléculas e substâncias. Esse conhecimento permite entender que a estrutura do DNA, por exemplo, depende das ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas, que, apesar de fracas, garantem estabilidade e flexibilidade à dupla hélice para os processos de replicação e transcrição (Hassunuma; Yonezawa, 2023).

Além disso, o estudo das ligações químicas amplia a compreensão sobre diversos aspectos importantes, como a existência e ausência de compostos, as razões e os caminhos das reações químicas, a solubilidade de espécies em diferentes solventes, a condução de eletricidade e calor por alguns sólidos, a coloração de certos compostos e o grau de nocividade de algumas substâncias (Santos Filho, 2007).

Tal percepção, referente ao objeto de conhecimento, está alinhada com as recomendações da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que aborda as ligações químicas na seguinte habilidade:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o



uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas (Brasil, 2018, p. 555).

De modo similar, o Referencial Curricular Amazonense (RCA) sugere que o ensino de ligações químicas deve permitir a análise de “fenômenos químicos por meio da observação de evidências e dados qualitativos e quantitativos para explicá-los por meio de equações químicas balanceadas” (Amazonas, 2019, p. 176).

No entanto, a literatura específica aponta que o ensino de ligações químicas, não corresponde às expectativas dos documentos mencionados, evidenciando alguns desafios. O primeiro deles trata-se da dificuldade em diferenciar os tipos de ligações (iônica, covalente e metálica) (Doege Júnior, 2023; Fernandes; Marcondes, 2006; Ramos; Lima; Laburú, 2020; Espanhol, 2017; Kordiak, 2017), o que prejudica o entendimento de como os compostos são formados e interagem.

O outro desafio refere-se ao uso restrito da regra do octeto para justificar a estabilidade de espécies químicas (Espanhol, 2017; Fernandes; Marcondes, 2006; Joki; Aksela, 2018; Paralovo; Martins; Alves, 2023; Pazinato, 2016; Silva, 2020), desconsiderando os casos em que a regra não se aplica. Isso pode levar a interpretações simplistas ou incorretas de estabilidade, o que exige a utilização de outras teorias para uma compreensão mais ampla e detalhada dos fenômenos químicos envolvidos.

Por último, destaca-se a falta de relação entre propriedades macroscópicas das ligações e suas estruturas em nível submicroscópico (Fernandez; Marcondes, 2006; Hilton; Nichols, 2011; Silva; Campos, 2018). Essa dificuldade está ligada a complexidade de entender como as características observáveis de uma ligação (macroscópica) estão diretamente relacionadas à organização de seus átomos ou moléculas (submicroscópica). Tal desconexão compromete a integração do conhecimento, fragmentando o aprendizado e dificultando a aplicação de conceitos.

Diante dessas evidências, emerge o seguinte problema: O que os estudos abordam sobre o ensino de ligações químicas no Ensino Médio? Com base nessa questão, o objetivo deste trabalho é apresentar um panorama dos estudos que tratam dessa temática, buscando identificar os conteúdos que a compõem, recursos didáticos utilizados, bem como as dificuldades apontadas no seu ensino e aprendizagem.

Para alcançar o objetivo, realizamos uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) e estruturamos o levantamento de dados segundo as etapas descritas por



Sampaio de Mancini (2007). Na sequência, adotamos a análise de conteúdo de Bardin (2016) para interpretar os resultados obtidos.

Metodologia

Buscando identificar estudos que abordam o ensino de ligações químicas no Ensino Médio, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura a partir dos passos propostos por Sampaio e Mancini (2007), são eles: (1) Definindo a pergunta; (2) Buscando a evidência; (3) Revisando e selecionando estudos; (4) Analisando a qualidade metodológica do estudo; e (5) Apresentando os resultados.

No primeiro passo, definimos a seguinte pergunta: O que os estudos abordam sobre o ensino de ligações químicas no Ensino Médio? Com o objetivo de respondê-la, elaboramos três questões de pesquisa, são elas:

QP1: Que conteúdos são abordados no ensino de ligações químicas para alunos do Ensino Médio?

QP2: Quais recursos são utilizados no ensino de ligações químicas com alunos do Ensino Médio?

QP3: Quais as dificuldades enfrentadas pelos alunos na aprendizagem de ligações químicas no Ensino Médio?

A busca por evidências iniciou com a definição dos descritores³, as estratégias de buscas e a definição das bases de dados. Os descritores selecionados foram Ligações Químicas, Ensino e Aprendizagem. Estes foram utilizados para a composição da seguinte *string* de busca: “Ligações Químicas” AND “Ensino” AND “Aprendizagem” e suas traduções para a língua inglesa “Chemical Bonds” AND “Teaching” AND “Learning”. As bases de dados escolhidas foram o Portal de Periódicos da CAPES, que integra diversas bases de dados, inclusive internacionais, e a Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), que reúne e disponibiliza textos completos de dissertações e teses defendidas em instituições brasileiras de ensino e pesquisa.

Na fase de revisão e seleção, os materiais foram organizados e separados. Durante esse processo, adotou-se a leitura flutuante, conforme proposto por Bardin

³ Optou-se por não incluir o descritor “Ensino Médio” na *string* de busca, pois sua tradução para o inglês, “High School”, não é comumente utilizada nos trabalhos.



(2016), para determinar quais estudos seriam analisados após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão (ver Quadro 1).

Quadro 1 - Critérios de inclusão e exclusão

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO (CI)	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO (CE)
CI - 1: Apresentar o tema ligações químicas no título do trabalho, mesmo que seja direcionado para um tipo de ligação específica; CI - 2: Apresentar uma intervenção voltada para o ensino de ligações químicas.	CE - 1: Trabalhos que não apresentam o tema ligações químicas no título; CE - 2: Trabalhos que abordam o ensino de ligações químicas, mas não apresentam uma intervenção para alunos do Ensino Médio; CE - 3: Trabalhos duplicados; CE - 4: Trabalhos com acesso indisponível.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os estudos que atenderam os critérios de inclusão foram avaliados quanto à qualidade metodológica, utilizando o *Standards for Reporting Qualitative Research* (SRQR), guia com 21 critérios sugeridos para pesquisa de cunho qualitativo (O'brien *et al.*, 2014). Os estudos que alcançaram uma pontuação igual ou superior a 11 foram selecionados, lidos na íntegra e analisados (Quadro 2).

Esse processo de seleção de estudos correspondeu à primeira etapa da análise de conteúdo de Bardin (2016), denominada pré-análise. Essa fase envolveu a organização e preparação do material, incluindo leitura flutuante, seleção dos estudos relevantes com base nos critérios de inclusão e exclusão, e avaliação da qualidade metodológica, resultando na formação do *corpus* da pesquisa, ou seja, o conjunto de documentos que serão analisados.

A segunda fase envolveu a exploração do *corpus*, voltada à codificação e categorização dos dados. Em relação aos conteúdos abordados no ensino de ligações químicas, inicialmente, elaboramos perguntas dicotômicas (Tabela 1) para orientar as buscas. Essas perguntas foram codificadas no *software* Atlas.ti⁴ e organizadas em três categorias: apresentação do tema, natureza e representação das ligações químicas.

Tabela 1 - Perguntas sobre os conceitos alusivos às ligações químicas

QUESTÕES
(1) O tema é apresentado a partir de uma pergunta? (Tal como: Por que os átomos se ligam?)
(2) É mencionado como os átomos adquirem estabilidade a partir de uma teoria? (Regra do Octeto, por exemplo)
(3) Apresenta exemplos/aplicações das ligações químicas?
(4) A natureza das ligações químicas é estabelecida?

⁴ Versão 23 gratuita e disponibilizada pelo fabricante no *site* oficial: <https://atlasti.com/updates>

-
- (a) Tipos: Iônica, Covalente e Metálica;
 - (b) Definição;
 - (c) Formação;
 - (d) Propriedades/Características.
- (5) Descreve a representação das ligações?
- (a) Distribuição Eletrônica;
 - (b) Camada de valência;
 - (c) Fórmula para representar a ligação química.
-

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para os recursos didáticos, utilizou-se a técnica de categorização por acervo, que consiste na criação de categorias a *posteriori* (Bardin, 2016). Com base na descrição fornecida de cada recurso, foram definidas seis categorias, que os classificaram conforme sua finalidade no ensino das ligações químicas.

Quanto às dificuldades, estas foram identificadas e segmentadas em unidades de registro (trechos dos textos), posteriormente agrupadas por semelhança, resultando na formação de cinco categorias distintas (Quadro 3). Para analisar as dificuldades e compreender o nível de entendimento dos alunos, usamos a Taxonomia SOLO⁵ (Biggs Tang, 2011 *apud* Mendonça, 2015).

Na última etapa, denominada tratamento dos resultados e interpretação, as categorias foram analisadas de forma detalhada, permitindo uma interpretação profunda, conforme descrito na seção análise dos resultados.

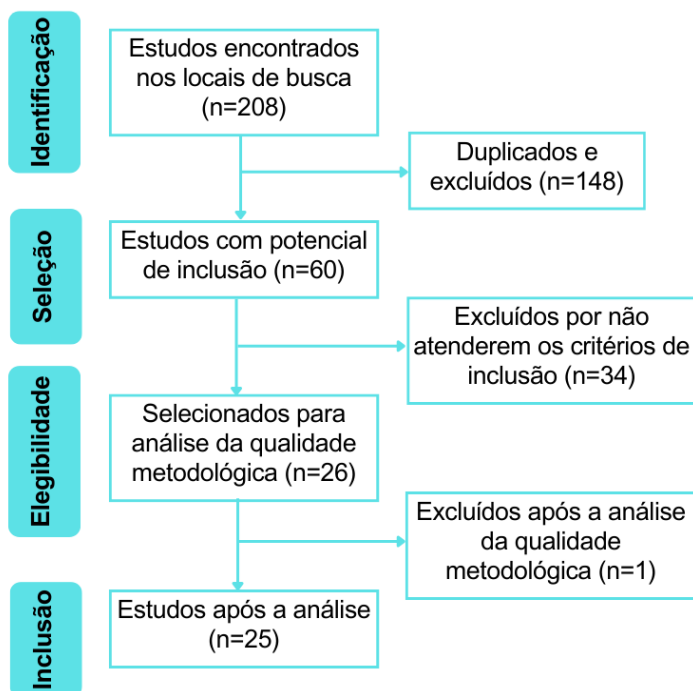
Resultados

Com as buscas realizadas, foram encontrados 208 estudos, a partir dos quais procedeu-se ao processo de coleta, triagem e seleção (Figura 1).

⁵ Possui cinco níveis: pré-estrutural (falta de compreensão básica), uniestrutural (compreensão limitada a um aspecto isolado), multiestrutural (vários aspectos desconectados), relacional (integração coerente de aspectos) e abstrato estendido (aplicação e generalização criativa e profunda do conhecimento).



Figura 1 - Processo de seleção dos estudos



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No Quadro 2, apresentamos os estudos selecionados após a análise da avaliação da qualidade metodológica, com identificação (ID), título e autores.

Quadro 2 - Estudos selecionados após a avaliação da qualidade metodológica.

ID	TÍTULO	AUTORES
E1	Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio	Mendonça; Justi; Oliveira (2006)
E2	Estabilidade química: um obstáculo para a construção do conhecimento em ligações químicas	Pazitano; Braibante; Miranda (2017)
E3	Caminho das ligações: um jogo didático para revisão de conceitos químicos	Ramos; Pedro Lima e Laburú (2020)
E4	Uso de materiais recicláveis como recurso didático para o ensino de ligações químicas	Marinho <i>et al.</i> (2023)
E5	The drama of chemistry - supporting student explorations of electronegativity and chemical bonding through creative drama in upper secondary school	Danckwardt-Lillieström; Andrée; Enghag (2020)
E6	Representational classroom practices that contribute to students' conceptual and representational understanding of chemical bonding	Hilton e Nichols (2011)
E7	The challenges of learning and teaching chemical bonding at different school levels using electrostatic interactions instead of the octet rule as a teaching model	Joki e Aksela (2018)
E8	Chemical bonding successful learning using the "chebo collect game": a case study	Lutfi <i>et al.</i> (2021)
E9	Using games to build and improve 10th grade students' understanding of the concept of chemical bonding and the representation of molecules	Molvinger; Lautier; Ayrál (2021)
E10	Teaching and learning chemical bonding: Research-based evidence for misconceptions and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text	Tsaparlis; Pappa; Byers (2018)

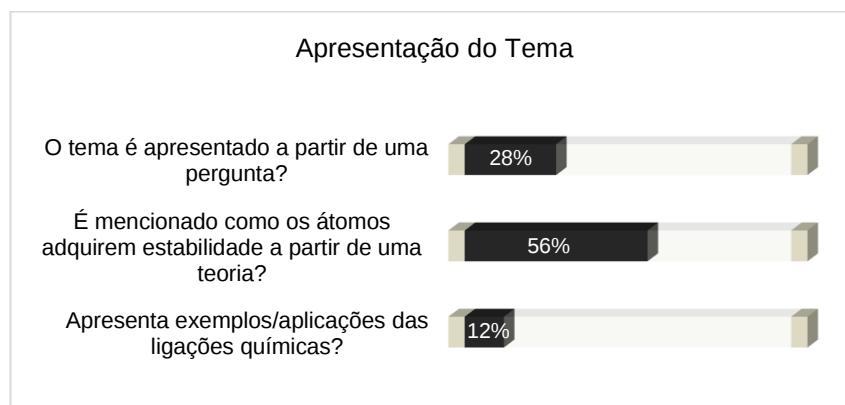
E11	Attraction vs. Repulsion - Learning about chemical bonding with the ELI-Chem Simulation	Zohar e Levy (2017)
E12	Attraction vs. Repulsion - Learning about Forces and Energy in Chemical Bonding with the ELI-Chem Simulation	Zohar e Levy (2019)
E13	As concepções dos alunos do ensino médio sobre o conteúdo de ligações químicas: uma análise nos livros didáticos através da prática educacional do SESI/PR	Espanhol (2017)
E14	Elaboração de unidade didática utilizando modelos e analogias na abordagem de conceitos relacionados ao conteúdo de estados físicos da matéria e ligações químicas	Fonseca (2016)
E15	Aplicação de programas computacionais do Método de Hückel para análise das ligações químicas	Kordiak (2017)
E16	Ligação metálica: uma proposta de material didático de apoio ao professor em sala de aula	Pariz (2011)
E17	Conhecimento(s) dos alunos sobre ligação química: uma sequência didática em foco	Reis (2017)
E18	Dialogicidade, experimentação e aprendizagem cooperativa aplicadas ao ensino de ligações químicas e interações intermoleculares	Sousa (2015)
E19	Ensino e aprendizagem significativa do conceito de ligação química por meio de mapas conceituais	Trindade (2011)
E20	Ligações químicas: investigação da construção do conhecimento no ensino médio	Pazinato (2016)
E21	Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry	Harrison e Tragust (2000)
E22	The collaboration of cooperative learning and conceptual change: Enhancing the students' understanding of chemical bonding concepts	Eymur e Geban (2016)
E23	Enhancing students' critical thinking and visualisation skills through mobile augmented reality	Saidin <i>et al.</i> (2024)
E24	Realidade aumentada no ensino de química: proposta de uma sequência didática para o ensino de ligações iônicas e covalentes na 1 série do ensino médio	Doege Junior (2023)
E25	Students' Understandings of Chemical Bonds and the Energetics of Chemical Reactions	Boo (1998)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

QP1: Que conteúdos estão sendo abordados no ensino de ligações químicas para alunos do Ensino Médio?

Na primeira categoria, buscou-se verificar se, ao apresentar o tema, foi utilizada uma pergunta norteadora (como “Por que os átomos se ligam?”), uma teoria explicativa sobre estabilidade química dos átomos, além de exemplos/aplicações das ligações químicas no cotidiano (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Percentual dos estudos que apresentaram o tema a partir de uma pergunta, mencionaram como os átomos adquirem estabilidade e apresentaram exemplos/aplicações das ligações químicas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

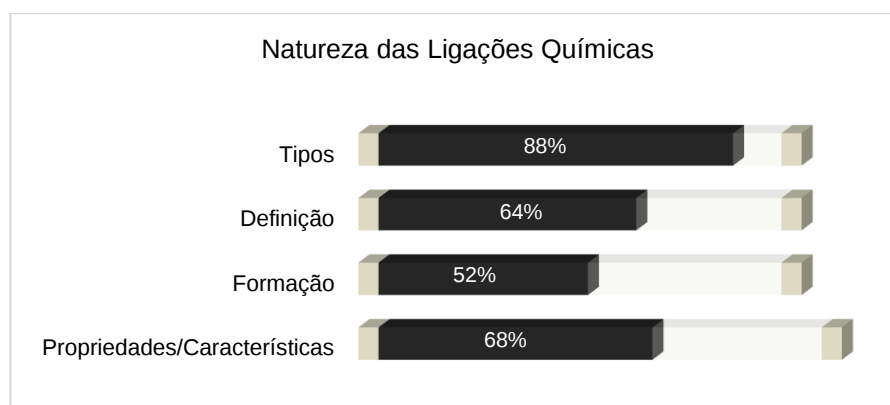
A apresentação do tema a partir de uma pergunta foi um aspecto pouco abordado (Gráfico 1). Nos estudos E1, E11, E12, E13, E14, E16 e E20, esse item é apenas mencionado em quadro de tópicos abordados, protocolo de entrevista pré e pós-teste, planejamentos, encontros, unidades didáticas e livros didáticos.

Sobre como os átomos adquirem estabilidade, a regra do octeto foi a mais mencionada [E2, E5, E9, E10, E12, E13, E17 e E23]. Três estudos [E7, E11 e E16] trouxeram o princípio das interações eletrostáticas, no qual a estabilidade das ligações formadas se deve ao equilíbrio entre cargas de sinais opostos. Em outro [E15], recorreu-se a aspectos energéticos, ou seja, os átomos estabelecem ligações químicas para alcançar estabilidade química, passando de um estado de maior energia para outro de menor energia ao se unirem.

O uso de aplicações das ligações foi um quesito pouco abordado. Este surgiu nas cartas de um jogo [E3] que apresentava perguntas relacionadas com os conceitos estudados, incluindo questões que envolvem o cotidiano. Em outra proposta, surgiu para diferenciar os tipos de ligações [E16 e E24], a interação entre as moléculas de água no cubo de gelo foi classificada como covalente, a interação entre os íons cloro e sódio, constituintes do sal de cozinha (NaCl), como iônica, e por fim, a interação entre os átomos metálicos de uma moeda como sendo ligação metálica.

Com relação à natureza das ligações químicas (Gráfico 2), teve-se em vista verificar a descrição dos tipos de ligações abordadas, sua definição, processo de formação e propriedades/características dos compostos formados.

Gráfico 2 - Percentual dos estudos que apresentaram os tipos de ligações, definição das ligações, processo de formação das ligações e propriedades/características dos compostos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os tipos de ligações foram um dos itens mais frequentes. A maioria abordou os três tipos: iônica, covalente e metálica [E1, E2, E7, E13, E14, E16, E17, E18, E19 e E20]. Outros trataram os dois tipos mais comuns: iônica e covalente [E4, E5, E6, E10, E21, E22, E23, E24 e E25]. Há ainda os estudos que optaram por um único tipo: a ligação covalente, dividida em covalentes de coordenação e substâncias polares e apolares [E8, E9 e E12].

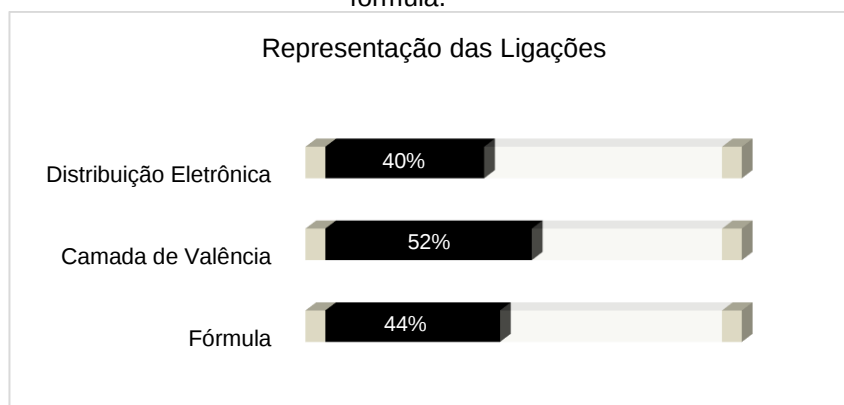
No item seguinte, tivemos em vista identificar a definição usada para os tipos de ligações. Na ligação iônica, definiu-se como um processo de transferência de elétrons [E1, E12, E16, E19, E20, E23, E24 e E25] em que há doação de elétrons de um átomo para outro [E7 e 17]. Na ligação covalente, definiu-se exclusivamente como um processo de compartilhamento de elétrons [E4, E5, E7, E9, E12, E13, E16, E17, E19, E20, E21, E22, E23, E24 e E25], podendo ser igual ou não, dependendo da eletronegatividade dos elementos envolvidos [E4]. Quanto à ligação metálica, foi definida como uma ligação que ocorre entre metais [E17 e E19].

Sobre a formação dessas ligações, identificamos três aspectos principais. Primeiro, o aspecto energético [E2], que relacionou a liberação e absorção de energia com a formação e o rompimento das ligações durante as transformações químicas. Segundo, o uso das características dos átomos [E17, E19, E23 e E24], incluindo a identificação do grupo e período na tabela periódica. E terceiro, a inserção das interações eletrostáticas [E10, E11, E12, E16 e E19], que explicaram a formação com base nas forças atrativas e repulsivas entre os elétrons e os núcleos dos átomos envolvidos.

A respeito das propriedades/características, os estudos trataram sobre: eletronegatividade [E4, E5, E10, E12, E16 e E19], energia de ionização [E20], afinidade eletrônica [E20], polaridade [E4, E5, E13, E18, E20 e E22], geometria molecular [E4, E13 e E19], raio [E12], condutividade [E13, E14, E16, E18 e E20], brilho [E16 e E20], maleabilidade [E16], reatividade [E16], solubilidade [E14, E18 e E22], ponto de fusão [E19 e E20] e ponto de ebulição [21]. Em outros estudos [E7, E9, E10, E23, E24 e E25] não foram especificadas as propriedades/características abordadas.

Quanto à representação das ligações químicas (Gráfico 3), verificamos se os estudos, para esse propósito, seguiram as etapas básicas que incluem: realizar a distribuição eletrônica dos elementos envolvidos, identificar a camada de valência e apresentar a fórmula do composto formado, respectivamente.

Gráfico 3 - Percentual de estudos que apresentaram distribuição eletrônica, camada de valência, e fórmula.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Sobre a distribuição eletrônica, esta foi apresentada para prever a carga iônica e as fórmulas dos compostos iônicos [E6 e E21], indicar uma camada completa [E7], subsidiar a aprendizagem de tópicos de ligações químicas [E8, E9 e E20], caracterizar e determinar o tipo de ligação [E16, E17 e E20] e introduzir o tema [E13 e E15].

O termo camada de valência surgiu para tratar de estabilidade química [E2], indicar os elétrons que participam das ligações [E4, E5, E6, E7, E16 e E19], subsidiar o ensino do tema [E8, E9, E13 e E20] e determinar os tipos de ligações [E10 e E17].

Em relação às fórmulas, três podem ser consideradas para representar uma ligação química: fórmula eletrônica ou de Lewis⁶, fórmula estrutural⁷ e fórmula molecular⁸. A fórmula eletrônica foi usada para mostrar os símbolos dos elementos

⁶ Representa os átomos envolvidos e a quantidade de elétrons na camada de valência de cada ($H^* \cdot H$).

⁷ Representa as ligações entre os elementos, por meio de traço ($H-H$).

⁸ Representa a quantidade de átomos que formam a molécula (H_2).

químicos e os elétrons da camada de valência ao seu redor [E4, E13, E16 e E20]. Em outros estudos [E8, E9, E10 e E19], ela foi mencionada apenas na seção de assuntos abordados. A fórmula estrutural foi representada com auxílio de cartas de jogos, kit de modelagem, confecção de modelos utilizando materiais de baixo custo e *software* [E9, E15, E17, E19 e E21]. Quanto à fórmula molecular, não constatamos sua presença nos estudos.

QP2: Quais recursos são utilizados no ensino de ligações químicas para alunos do Ensino Médio?

Antes de identificá-los, é necessário entender o que é um recurso didático. Segundo o conceito apresentado por Souza (2007, p. 111), um recurso didático “é todo material utilizado no ensino-aprendizagem do conteúdo proposto para ser aplicado pelo professor a seus alunos”. Esses recursos visam aprimorar o processo de ensino e aprendizagem, fomentar a interação entre professor e aluno e facilitar a mediação entre esses sujeitos e os conhecimentos a serem construídos (Gonçalves; Dias, 2022).

Com base nessa compreensão, identificamos os seguintes recursos: simulação, *software*, modelos, realidade aumentada, jogos, analogias, mapas conceituais, livro didático, práticas representacionais e o drama criativo. Os quais foram agrupados em seis categorias, conforme suas finalidades (Figura 2).

Figura 2 - Recursos didáticos e finalidades no ensino



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O uso de jogo apresentou como maior contribuição despertar o interesse dos alunos pela disciplina de Química e motivá-los no processo de ensino e aprendizagem [E3 e E8]. Além disso, sua natureza dispõe de uma estrutura recomendada para

revisar conceitos que foram trabalhados em aulas anteriores e trazer aplicações do cotidiano relacionados ao tema e assim facilitar o aprendizado.

Para visualizar fenômenos abstratos, a simulação [E11 e E12] ilustrou como os átomos interagem em uma ligação, mostrando as forças e energias envolvidas. Os modelos [E4, E14, E17 e E21] auxiliaram na “visualização” de certos fenômenos abstratos, como átomos e arranjos moleculares. E a realidade aumentada permitiu observar os principais tipos de ligações e as conformações das moléculas [E23 e E24].

Na experimentação, o estudante observou os fenômenos e os relacionou com uma teoria como forma de validação [E20 e E25]. Além disso, sob orientação docente, conseguiu refutar ideias de senso comum, incorporando noções científicas à estrutura cognitiva [E16].

Para familiarizar os alunos com o tema, as analogias [E1] associaram os novos conhecimentos aos já existentes na estrutura cognitiva deles. Nesse entendimento, criou-se analogias envolvendo o compartilhamento de pares de elétrons, conforme transcrito a seguir:

Uma ligação química é como uma sociedade empresarial entre várias pessoas (...), na ligação química vários átomos compartilham elétrons para chegar a uma configuração ideal, a qual sozinhos não conseguiriam. E numa sociedade as pessoas unem seus capitais para fundar uma empresa que sozinhos não conseguiriam (Mendonça; Justi; Oliveira, 2006, p. 7).

Para organizar os conhecimentos, temos os mapas conceituais [E19], que ajudaram na disposição das ideias assimiladas após um período instrucional e o livro didático [E13] que auxiliou a identificar e interpretar fenômenos referentes às ligações químicas, conforme as seções apresentadas.

Com o objetivo de apoiar a construção do conhecimento, o *software* [E15] ajudou os estudantes a montar moléculas e identificar os átomos cujos orbitais atômicos se combinam para formar os orbitais moleculares correspondentes. As práticas representacionais [E6] possibilitaram modificar, criar e integrar múltiplas representações para explicar dados macroscópicos ao nível submicroscópico. E o drama criativo [E5], que envolve um professor orientando os alunos na dramatização de uma história ou conceito, apoiou no desenvolvimento conceitual de eletronegatividade e ligação química, conforme transcrito a seguir:

O átomo mais eletronegativo, o flúor, foi visualizado pelo aluno com uma expressão triste (negativa). Enquanto o átomo eletropositivo de hidrogênio foi visualizado pelo aluno como uma expressão feliz (positiva). Os alunos, portanto, fizeram uso de conotações cotidianas de positivo/negativo como



feliz/triste. Para adicionar significado simbólico, os alunos colocaram cartazes de papel colorido sobre si para rotular os átomos que representavam. Os alunos visualizaram a ligação covalente intramolecular unindo os braços (Danckwardt-Lillieström; André; Enghag, 2020, p. 1875, tradução nossa)⁹.

Nesse trecho, observa-se a construção do conhecimento de conceitos abstratos, pois cada aluno incorporou um personagem, um elemento químico, assimilando suas propriedades e simbologia para representar uma ligação específica. Tal processo facilitou a compreensão das propriedades dos elementos e suas interações, promovendo uma aprendizagem prática e envolvente.

QP3: Quais as dificuldades enfrentadas pelos alunos na aprendizagem de ligações químicas no Ensino Médio?

No Quadro 3, apresentamos as categorias derivadas das unidades de registro.

Quadro 3 - Síntese das principais dificuldades no ensino de ligações químicas.

CATEGORIA	DEFINIÇÃO	UNIDADE DE REGISTRO
Pré-requisito	É uma aprendizagem anterior requerida e imprescindível para a nova aprendizagem (Rosado; Silva, 2010).	<i>“O não acerto dessa questão pelos alunos pode estar relacionado com a falta de entendimento do conteúdo de tabela periódica”</i>
		<i>“A falta de noções sobre estrutura da matéria e a propriedade periódica eletronegatividade constituíram entraves para o entendimento da natureza da ligação”</i>
Concepções alternativas	Erros conceituais, ideias intuitivas ou concepções espontâneas (Pietrocola, 2005).	<i>“Tiveram dificuldades para responder por estarem confundindo os tipos de ligações químicas”</i>
		<i>“As justificativas ficaram praticamente restritas à regra do octeto e ao número de elétrons, não considerando a estabilidade em termos energéticos”</i>
Aprendizagem superficial	É composta pelos níveis uniestrutural e multiestrutural, que são mais simples e não exigem relações ou abstrações (Moi; Matos, 2019).	<i>“Este nível de explicação mostra que um aluno tem alguma compreensão da forma das representações e pode interpretá-las, mas tem dificuldade em associá-las a causas subjacentes ou fenômenos submicroscópico”</i>
		<i>“Apesar de possuírem os conceitos necessários e o nível de compreensão exigido, não foram capazes de explicar a base da regra do octeto com a ajuda de interações eletrostáticas, quantização de níveis de energia e princípio da energia mínima”</i>
Conceituação	É o ato de formular ideias para se comunicar (Santos et al., 2021).	<i>“Os tópicos estabilidade químicas e natureza das interações entre átomos e íons estão sendo desenvolvidos de forma inadequada, por meio de modelos que provocam distorções conceituais”</i>

⁹ The most electronegative atom, fluorine, was visualised by the student with a sad (negative) expression. While the electropositive hydrogen atom was visualised by the student with a happy (positive) expression. The students thus made use of everyday connotations of positive/negative as happy/sad. To add symbolic meaning, the students put paper signs of coloured paper on themselves to label the atoms they represented. The students visualized the intramolecular covalente bond by linking arms.

Linguagem Química	Usa símbolos, fórmulas, equações e termos para explicar modelos abstratos (Reinaldo, 2019).	<i>“Grande confusão na representação das ligações químicas e as quantidades de elementos para formação da molécula”</i> <i>“Ainda podemos perceber dificuldade em definir o conceito de íon e de relacioná-lo às substâncias iônicas e na representação do modelo de substância metálica”</i>
-------------------	---	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A primeira categoria trata-se dos conhecimentos que os alunos deveriam ter para subsidiar o ensino e aprendizagem de ligações. Um trabalho [E4] apontou a falta de conhecimento sobre tabela periódica para diferenciar compostos químicos e prever o tipo de ligação formada. Outro [E20] citou a noção sobre estrutura da matéria e a propriedade periódica eletronegatividade para entender a natureza das ligações covalentes.

Nas concepções alternativas, constatou-se confusão entre ligações com interações e átomo com molécula [E1], além da dificuldade para diferenciar os tipos de ligações químicas [E3, E13 e E15]. Também foi observado o uso da regra do octeto para justificar, de forma teleológica, a estabilidade de uma espécie química [E7, E13 e E20].

Sobre a aprendizagem superficial, inclui-se os estudos que não estabeleceram relação entre conceitos. No primeiro caso [E6], relatou-se a dificuldade de associar uma compreensão aos fenômenos submicroscópicos (representações que mostram a estrutura ou comportamento de partículas). No segundo [E7], mencionou-se o desafio de utilizar a regra do octeto vinculada ao princípio da energia mínima ou às interações eletrostáticas.

Elaborar conceitos químicos foi mais uma dificuldade mencionada [E16]. Os conceitos reportados nos estudos envolveram: processos químicos que ocorrem na formação das ligações químicas [E17 e E22], estabilidade química, natureza das interações entre átomos e íons [E20], a importância dos elementos não metálicos para ambos os tipos de ligação, forças repulsivas, solubilidade e a regra do octeto como explicação para a formação de ligações químicas [E10].

Na última categoria, tem-se as dificuldades com a linguagem química. A primeira delas refere-se à representação das ligações químicas [E13], que pode utilizar fórmula molecular, iônica ou estrutural, dependendo do referencial estabelecido pelo docente. A segunda dificuldade mencionada [E16] trata-se do uso

inadequado do termo íon, uma espécie química que possui carga elétrica e que, por vezes, foi tratado como átomo.

Análise dos Resultados

Na apresentação do tema, poucos estudos usaram uma pergunta, estratégia fundamental para atrair a atenção do estudante e estimulá-lo a buscar uma resposta. A respeito de como os átomos estabilizam, a regra do octeto foi a teoria mais mencionada, apesar de ser considerada um dogma e favorecer a aprendizagem memorística e limitada, pois não se aplica a uma variedade de compostos. A utilização de exemplos/aplicações teve uma incidência menor, apesar de ser uma forma eficaz de associar o conhecimento químico a fatos do cotidiano, reforçando assim a ideia de Leite e Lima (2015).

Na natureza das ligações químicas, os tipos foram mencionados na maioria dos estudos, porém as definições foram consideradas prontas e não passíveis de refutação, visto que não englobavam outros fenômenos, como distribuição dos elétrons, as interações eletrostáticas e as propriedades periódicas. Quanto à sua formação, alguns enfatizaram os aspectos energéticos, enquanto outros destacaram as características específicas dos elementos. Contudo, priorizou-se pelas interações eletrostáticas, consideradas por Pazinato (2016) essenciais para entender a natureza das ligações e fornecer uma visão submicroscópica do fenômeno.

As propriedades/características dos elementos são fundamentais para o estudo do tema, pois fornece a base para compreender como e por que os átomos se combinam. As características determinam o tipo de ligação que se forma, influenciando diretamente as propriedades dos materiais resultantes. Tal compreensão é corroborada no estudo de Pazinato (2016).

Na representação das ligações, observou-se que a distribuição eletrônica é mencionada, porém não utilizada para predizer o tipo de ligação. A camada de valência é mencionada principalmente para indicar os elétrons que participam da ligação, mas não empregada para determinar a geometria de uma molécula. Quanto às fórmulas, destacamos a molecular, que não foi abordada, mas é essencial para demonstrar a composição de uma molécula, incluindo os elementos químicos que estão nela e suas quantidades.



Sobre os recursos, cada um visou superar uma barreira específica na aprendizagem, evidenciando a necessidade de práticas que incorporassem diferentes recursos para dar maior abrangência ao objeto de conhecimento. Nesse viés, destacamos algumas limitações que nos levam a pensar em outros recursos ou a utilizar estes com adaptações, como: modelos que não representam ligações duplas e triplas, *software* com funcionamento limitado e restrito a ligações simples e duplas, simulação com tópicos limitados, realidade aumentada com poucas cartas e baixa qualidade de imagens, jogo disponível apenas para computador e focado em um tópico, analogias sem conexão com o conteúdo e, por fim, o livro didático que não auxiliou na identificação e na modificação de concepções alternativas.

Analisando as dificuldades observadas, notamos que elas não estão alinhadas com os resultados de aprendizagem esperados. Na categoria pré-requisitos, os alunos não tinham conhecimentos básicos de tabela periódica e estrutura da matéria, situando estes no nível pré-estrutural, o que corresponderia aos conhecimentos prévios necessários para aquisição do novo conhecimento. No entanto, os resultados esperados para a aprendizagem indicam que o objetivo era diferenciar compostos químicos e representar a formação de uma ligação química, o que equivaleria ao nível relacional da Taxonomia SOLO.

Na categoria concepções alternativas, observou-se que os alunos confundiram os tipos de ligações e atribuíram a estabilidade química à regra do octeto e ao número de elétrons, situando-se no nível multiestrutural. O objetivo de aprendizagem, porém, era que relacionassem os tipos de ligações a situações cotidianas e explicassem a estabilidade química em termos energéticos, o que corresponderia ao nível relacional.

Na aprendizagem superficial, os alunos entendiam as representações, mas não conseguiam associá-las a fenômenos não observáveis, devido à complexidade de interpretar processos microscópicos em termos macroscópicos (Pozo; Crespo, 2009), o que os situa no nível multiestrutural. O uso da regra do octeto desvinculada de outros conhecimentos também os manteve nesse nível. Em contraste, os objetivos de aprendizagem pretendiam que atingissem o nível relacional, no qual deveriam interpretar representações científicas e conectá-las a fenômenos não observáveis e explicar a regra do octeto com base em outros fenômenos.

A dificuldade conceitual envolveu a compreensão de estabilidade química abordada com base em uma teoria, posicionando os alunos no nível uniestrutural.

Além disso, houve desafios no entendimento dos tipos de ligações, especialmente no modelo de ligação metálica, situando-os no nível multiestrutural. No entanto, os objetivos de aprendizagem pretendiam que os alunos alcançassem o nível relacional, em que deveriam diferenciar os tipos de ligações e usar múltiplos critérios para avaliar a estabilidade química conforme o contexto.

Em relação à linguagem química, observou-se pouca compreensão na representação das ligações e na quantidade dos elementos envolvidos, situando os alunos no nível pré-estrutural. Além disso, houve dificuldade em definir íons e relacioná-los às substâncias iônicas, o que indicaria um nível uniestrutural. Contudo, os objetivos de aprendizagem tinham como propósito que os alunos atingissem o nível relacional, no qual deveriam representar ligações com fórmulas eletrônicas, distinguir tipos de ligações e descrever o fenômeno observado no experimento.

Considerações Finais

Os estudos priorizaram a categoria natureza das ligações, com foco nos tipos de ligações, na definição e em algumas propriedades/características dos elementos químicos envolvidos, o que levou à fragmentação do tema. Por isso, é essencial uma proposta que inclua não apenas essa categoria, mas também outras, como apresentação do tema e as representações das ligações químicas, para que o aluno desenvolva uma compreensão ampla, capaz de relacionar características observáveis (macroscópico), como maleabilidade, ductibilidade, brilho, resistência e condutividade do ouro, com aspectos microscópicos, como estrutura atômica e ligação metálica, além de representá-los de diferentes formas.

Com relação aos recursos didáticos apresentados, cada um buscou superar um obstáculo específico na aprendizagem, destacando a importância de tratar outros desafios. Pensando nisso, sugerimos a combinação de recursos por meio da gamificação para proporcionar uma experiência educacional enriquecedora e personalizada. Nesse contexto, os elementos de jogos podem ser selecionados e combinados com diferentes recursos, criando uma experiência de aprendizagem envolvente e eficaz, capaz de atender a diferentes necessidades e estilos de aprendizagem.



Para superar as dificuldades mencionadas, é fundamental que o docente ofereça um acompanhamento durante o processo de ensino e aprendizagem, garantindo que os objetivos de aprendizagem sejam alcançados de forma eficaz.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPEAM, pelo apoio dado por meio do Programa Institucional de Apoio à Pós-Graduação Stricto Sensu.

Referências

AMAZONAS. **Referencial Curricular Amazonense do Ensino Médio**. Manaus: Secretaria de Estado de Educação e Desporto do Amazonas, 2020. Disponível em: <http://www.cee.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/RCA-Ensino-Medio.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2024.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna**. 3. ed. Bookman: Porto Alegre, 2006.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal.pdf. Acesso em: 04 dez. 2024.

BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and the energetic of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, [S. l], v. 35, n. 5, p. 569-581, 1998. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291098-2736%28199805%2935%3A5%3C569%3A%3AAID-TEA6%3E3.0.CO%3B2-N>. Acesso em: 11 out. 2023.

DANCKWARDT-LILLIESTROM, K.; ANDRÉE, M.; ENGHAG, M. The drama of chemistry - supporting student explorations of electronegativity and chemical bonding through creative drama in upper secondary school. **International Journal of Science education**, [S. l], v. 42, n. 11, p. 1862-1894, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/09500693.2020.1792578?needAccess=true>. Acesso em: 11 out. 2023.

DOEGE JUNIOR, L. R. **Realidade aumentada no ensino de química**: proposta de uma sequência didática para o ensino de ligações iônicas e covalentes na primeira série do ensino médio. 2023. 154 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/271935/001194943.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ESPANHOL, E. **As concepções dos alunos do ensino médio sobre o conteúdo de ligações químicas**: uma análise nos livros didáticos através da prática educacional no SESI/PR. 2017. 104 f. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica, 2017. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2313/1/CT_PPGFCET_M_Espanhol%20Evandro_2017.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

EYMUR, G.; GEBAN, O. The Collaboration of Cooperative Learning and Conceptual Change: Enhancing the Students' Understanding of Chemical Bonding Concepts. **International journal of science and mathematics education**, [S.l.], v. 15, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10763-016-9716-z>. Acesso em: 11 out. 2023.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligação química. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 24, 2006. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc24/af1.pdf>. Acesso: 10 dez. 2024.

FONSECA, K. B. da. **Elaboração de uma unidade didática utilizando modelos e analogias na abordagem de conceitos relacionados ao conteúdo de estados físicos da matéria e ligações químicas**. 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/21881/1/KeilaBarbosaDaFonseca_DISSERT.pdf. Acesso em 13 dez. 2024.

GONÇALVES, A. S.; DIAS, V. B. Desafios e potencialidades na utilização de recursos didáticos no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos de citologia. **Educitec – Revista de Estudos e Pesquisas sobre o Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 8, e198322, 2022. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/1983/864>. Acesso em: 13 dez. 2024.

HARRISON, A. G.; TREAGUST, D. F. Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: a Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry. **Science Education**, [S. l.], v. 84, n. 3, p. 352-381, 2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291098-237X%28200005%2984%3A3%3C352%3A%3AAID-SCE3%3E3.0.CO%3B2-J>. Acesso em: 11 out. 2024.

HASSUNUMA, R. M.; YONEZAWA, W. M. Compreendendo a importância das ligações de hidrogênio na formação de complexos DNA-proteína usando um jogo de bioinformática. **Revista multidisciplinar em Saúde**, Fortaleza, v. 4, n. 3, 2023. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/remsa/article/view/3808/465>. Acesso em: 10 dez. 2024.

HILTON, A.; NICHOLS, K. Representational Classroom Practices that Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. **International Journal of Science Education**, [S. l], v. 33, n. 16, p. 2215-2246, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/233234267_Representational_Classroom_Practices_that_Contribute_to_Students'_Conceptual_and_Representational_Understanding_of_Chemical_Bonding. Acesso em: 11 out. 2024.

JOKI, J.; AKSELA, M. The challenges of learning and teaching chemical bonding at different school levels using electrostatic interactions instead of the octet rule as a teaching model. **Chemistry Education Research and Practice**, [S. l], v. 19, n. 3, 2018. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2018/rp/c8rp00110c>. Acesso em: 11 out. 2023.

KORDIAK, J. **Aplicação de programas computacionais do método de Huckel para análise das ligações químicas**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2381/1/Januario%20Kordiak.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2024.

LEITE, L. R.; LIMA, J. O. G. de. O aprendizado da química na concepção de professores e alunos do ensino médio: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos (online)**, Brasília, v. 96, n. 243, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeped/a/Z3qM9nR3H3XCDr3HGsx6pq>. Acesso em: 7 mar. 2024.

LUTFI, A.; HIDAYAH, R.; SUKARMIN, S.; DWININGSIH, K. Chemical bonding successful learning using the “Chebo Collect game”: A case study. **Journal of Technology and Science Education**, [S. l], v. 11, n. 2, 474-485, 2021. Disponível em: <https://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/1265/549>. Acesso em: 25 dez. 2023.

MARINHO, A. R.; ALMEIDA, W. A.; YAMAGUCHI, K. K. de L.; PESSOA JUNIOR, E. S. F. Uso de materiais recicláveis como recurso didático para o ensino de ligações químicas. **Revista Kiri-Kerê: Pesquisa em Ensino**, Espírito Santo, n. 15, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/kirikere/article/view/40125/27682>. Acesso em: 11 out. 2023.

MENDONÇA, A. P. **Alinhamento Construtivo: fundamentos e Aplicações**. In: Gonzaga, Amarildo M. (org.). **Formação de Professores no Ensino Tecnológico: fundamentos e desafios**. Curitiba, PR: CRV, p.109 -130, 2015.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R.; OLIVEIRA, M. M. de. Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4051/2615>. Acesso em: 11 out. 2023.



MOL, S. M; MATOS, D. A. S. Uma análise sobre a taxonomia solo: aplicações na avaliação educacional. **Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 30, n. 75, p. 722-747, 2019. Disponível em: <http://educa.fcc.org.br/pdf/eae/v30n75/1984-932X-eae-30-75-722.pdf>. Acesso em 25 fev. 2024.

MOLVINGER, K.; LAUTIER, G.; AYRAL, R. Using games to build and improve 10th grade students' understanding of the concept of chemical bonding and the representation of molecules. **Journal of Chemical Education**, [S. l], v. 98, n. 2, 2021. Disponível em: <https://cnrs.hal.science/hal-03169786/document>. Acesso em: 11 out. 2023.

O'BRIEN, B. C.; HARRIS I. B.; BECKMAN, T. J.; REED, D.; COOK, D. A. Standards for Reporting Qualitative Research: a Synthesis of Recommendations. **Academic Medicine**. [S. l], v. 89, n. 9, 2014. Disponível em: https://www.mmcri.org/deptPages/core/downloads/QRIG/Standards_for_Reporting_Qualitative_Research___A_990451.pdf. Acesso em: 17 jun. 2024.

PARIZ, E. **Ligação metálica**: uma proposta de material didático de apoio ao professor em sala de aula. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, 2011. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/9711/1/2011_ElisangelaPariz.pdf. Acesso em 13 dez. 2024.

PAZINATO, M. S. **Ligações Químicas**: Investigação da construção do conhecimento no ensino médio. 2016. 370 p. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3555/PAZINATO%2c%20MAURICIUS%20SELVERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 dez. 2024.

PARALOVO, J.L.; MARTINS, R. L.; ALVES, A. A. R. Mudança de paradigma da regra do octeto: Proposta da “regra do novo olhar” sobre as ligações químicas. **Revista Contemporânea**, [S. l], v. 2, n. 4, p. 153-181. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/244/172>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; MIRANDA, A. C. G. Estabilidade química: um obstáculo para a construção do conhecimento em ligações químicas. **Ensenanza de Las Ciencias**, Barcelona, v. extra, p. 1441-1446, 2017. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337013/427884>. Acesso em: 11 out. 2023.

PIETROCOLA, M. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed., Porto Alegre: Artmed, 2009.

RAMOS, E.; PEDRO LIMA, T.; LABURÚ, C. Caminho das Ligações: um jogo de tabuleiro para ensinar Química. **Revista Insignare Scientia**, Rio Grande do Sul, v. 3, n. 5, p. 350-361, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/11438/7611>. Acesso em: 11 out. 2023.

REINALDO, T. A. S. **Representação em Química**: relações entre níveis do conhecimento e seus signos para apropriação da linguagem química. 2019. 194 f. Dissertação (Mestrado em Docência para a Educação Básica) - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/c0fd8a60-f7a5-45cd-a288-ebc413b548ac>. Acesso em: 13 dez. 2024.

REIS, D. B. dos. **Conhecimento (s) dos alunos sobre ligação química**: uma sequência didática em foco. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2017. Disponível em: <https://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/3491/2/PDF%20-%20Diones%20Bento%20dos%20Reis.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ROSADO, A.; SILVA, C. **Conceitos básicos sobre avaliação das aprendizagens**. 2010. Disponível em: http://api.adm.br/evalforum/wp-content/uploads/2010/07/200_-rosado-e-silva-conceitosbasicos-sobre-avaliacao-das-aprendizagens.pdf. Acesso em: 26 fev. 2024.

SAIDIN, N. F.; HALIM, N. D. A.; YAHAYA, N.; ZULKIFLI, N. N. Enhancing students' critical thinking and visualisation skills through mobile augmented reality. **Knowledge Management & E-Learning**, Hong Kong, v. 16, n. 1, p. 1– 41, 2024. Disponível em: <https://www.kmel-journal.org/ojs/index.php/online-publication/article/view/573/568>. Acesso em: 20 mai. 2024.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfis/a/79nG9Vk3syHhnSgY7VsB6jG/?format=pdf&lang-pt>. Acesso em 19 set. 2023.

SANTOS FILHO, P. F. **Estrutura atômica & Ligação Química**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, p. 307, 2007.

SANTOS, L. M. D. dos; SOUSA, D. M. do N.; TEXEIRA, J. J. D.; CHAVES, A. F. L.; ORIÁ, M. O. B. Análise de conceito como estratégia fundamental para construção de tecnologias para promoção da saúde. In: CAMPELO, I. L. B.; SOUSA, A. K. P. de; CAMPOS, D. B.; CAMPELO NETO, J. B. (org.). **Saúde coletiva: construção de**

saberes interdisciplinares e sua interface na produção de cuidado. 1. ed., Fortaleza: Editora da UECE, 2021.

SILVA, K. T. A. **Abordagem interdisciplinar:** as ligações químicas e as interações conformacionais da hemoglobina com o oxigênio molecular. 2020. 84 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Química (PROFQUI), Recife, 2020. Disponível em: https://www.profqui.ufrpe.br/sites/default/files/testes-dissertacoes/dissertacao_karla_thayse_andrade_silva.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

SILVA, S. P. da; CAMPOS, A. F. O ensino de ligação química por meio de situação-problema com estudantes do ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, Mato Grosso, v.13, n. 5, 2018. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID525/v13_n5_a2018.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

SOUSA, M. M. de. **Dialogicidade, experimentação e aprendizagem cooperativa aplicadas ao ensino de ligações químicas e interações intermoleculares.** 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Fortaleza, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/13982/1/2015_dis_mmsousa.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

SOUZA, S. E. de. Uso de recursos didáticos no ensino escolar. **Arquivo do Mudi**, Maringá, v. 11, n. Supl 2, p. 110-114, 2007.

TRINDADE, J. O. da. **Ensino e aprendizagem significativa do conceito de ligação química por meio de mapas conceituais.** 2011. 216 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Química, São Paulo, 2011. Disponível: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6632/3457.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 13 dez. 2024.

TSAPARLIS, G.; PAPPA, E. T.; BYERS, B. Teaching and learning chemical bonding: Research-based evidence for misconceptions and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text. **Chemistry Education Research and Practice**, [S. l], 2018. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/rp/c8rp00035b>. Acesso em: 11 out. 2023.

ZOAR, A. R.; LEVY, S. T. Attraction vs. Repulsion – learning about chemical bonding with the ELI-Chem Simulation. *In*: Chais Conference for the Study of Innovation and Learning Technologies: Learning in the Technological Era, 12., 2017, Israel. Proceedings [...]. Israel: Open University, 2017. Disponível em: https://www.openu.ac.il/innovation/chais2017/b2_1.pdf. Acesso em: 28 ago. 2024.



ZOAR, A. R.; LEVY, S. T. Attraction vs. Repulsio – Learning about Forces and Energy in Chemical Bonding with the ELI-Chem Simulation. **Chemistry Education Research and Practice**, [S. l.], v. 20. n. 4, p. 667-684, 2019. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/rp/c9rp00007k>. Acesso em: 29 ago. 2024.

Recebido: 13/09/2024

Aprovado: 13/12/2024

Publicado: 20/12/2024

Como citar (ABNT): ROCHA, A. C.; CABRAL NETO, J. S. Ensino de ligações químicas: uma revisão sistemática de literatura. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 10, e245324, 2024.

Contribuição de autoria:

Amanda Chelly da Rocha: Conceituação, curadoria de dados, análise formal, obtenção de financiamento, investigação, metodologia, validação e escrita (revisão e edição).

João dos Santos Cabral Neto: Conceituação, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, administração do projeto, supervisão, validação e escrita (revisão e edição).

Editor responsável: Iandra Maria Weirich da Silva Coelho

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional

