

DESAFIOS E POSSIBILIDADES NO ENSINO DE ESTRUTURA ATÔMICA E LIGAÇÕES QUÍMICA: REVISÃO DE CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES E SUGESTÕES DE PROPOSTAS DE ENSINO

CHALLENGES AND POSSIBILITIES IN TEACHING ATOMIC STRUCTURE AND CHEMICAL BONDS: REVIEW OF STUDENTS CONCEPTIONS AND SUGGESTIONS FOR TEACHING PROPOSALS

Carlos Neco da Silva Júnior¹, Lorena Vanessa Barreto Costa²

Recebido: março/2022 Aprovado: dezembro/2023

Resumo: Este trabalho resume as principais concepções alternativas e dificuldades de aprendizagem relativas à abordagem de conceitos sobre estrutura atômica e ligações químicas. A pesquisa é parte de um trabalho de iniciação científica que utilizou bases de dados acadêmicos, tal como, scielo, periódicos capes e google acadêmico. Foram selecionados inicialmente 32 trabalhos, sendo onze deles discutindo especificamente concepções alternativas, dificuldades de aprendizagem e erros conceituais. A partir das bases consultadas os resultados mostram que a maioria das pesquisas sobre as dificuldades de aprendizagem dos estudantes da educação básica em química, retratam apenas realidades pontuais, descrevendo a investigação para uma realidade escolar ou no máximo o estudo de um grupo de estudantes para uma determinada instituição de ensino, com a maioria dos trabalhos no ensino médio e quase nenhum no ensino superior. Somente uma das pesquisas encontradas retrata o estudo da revisão de dificuldades relativas ao conteúdo de ligações químicas. Para subsidiar o processo de ensino e aprendizagem é apresentado algumas propostas e estratégias didáticas, tal como a importância do uso da perspectiva histórica do desenvolvimento conceitual, atividades experimentais e recursos multimídias que além de dinamizar o ensino podem conjuntamente possibilitar o interesse e a motivação dos estudantes na abordagem desses conteúdos.

Palavras-chave: Concepções alternativas, estratégias de ensino, Estrutura Atômica e Ligações Químicas.

Abstract: This work summarizes the main misconceptions and learning difficulties related to approaching concepts about atomic structure and chemical bonds. The research is part of scientific initiation work that used academic databases, such as Scielo, Capes Journal Portal and Google Scholar. Initially, 32 works were selected, one of which specifically discussed misconceptions, learning difficulties and conceptual errors. From the databases consulted, the results show that the majority of research on the learning difficulties of basic education students in chemistry only portray specific realities, describing the investigation for a school reality or at most the study of a group of students for a particular educational institution, with the majority of work in secondary education and almost none in higher education. Only one of the studies reveals the study of reviewing difficulties related to the content of chemical bonds. To support the teaching and learning process, some proposals and didactic strategies are presented, such as the importance of using the historical perspective of conceptual development, experimental activities and

¹  ORCID iD <https://orcid.org/0000-0001-9015-1934> Doutor em Química com tese na área de ensino de Química pelo PPGQ/UFRN. Professor Associado III do Instituto de Química da UFRN atuando na área de ensino de Química e nos Programas de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Naturais e Matemática e PROFQUI. Membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Contato: Instituto de Química/UFRN Av. Sen. Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova. CEP 59078-900 Natal/RN - Brasil. E-mail: carlos.neco@ufrn.br

²  ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-6974-2438> - Graduada em Química pela UFRN. Natal, Rio Grande do Norte. Av. Sen. Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova. CEP 59078-900 Natal/RN - Brasil. E-mail: lorynhabarreto@gmail.com

multimedia resources that, in addition to boosting teaching, can together enable students' interest and motivation in approaching these contents.

Keywords: Misconceptions, teaching strategies, Atomic Structure and Chemical Bonds;

1. Introdução

O processo de ensino e aprendizagem se dá a partir da troca de conhecimento entre dois ou mais indivíduos. A aprendizagem inicia-se no momento do nascimento e tem continuidade durante toda a vida, pois como apresenta VYGOTSKY (1984, p. 33) “desde os primeiros dias do desenvolvimento da criança, suas atividades adquirem significado próprio num sistema de comportamento social, dirigidas a objetivos definidos que são refratadas através do prisma do ambiente da criança”. Esse processo perpassa por toda fase da vida adulta e vai, direta ou indiretamente, sendo transposto por seus conhecimentos e observações realizadas ao decorrer de sua existência.

Para Luria (1987, p. 73), aprender é extremamente relevante uma vez que se trata de um processo de apropriação da experiência produzida pela humanidade que permite ao homem adquirir novas aptidões e funções psíquicas. Ao receber do meio social o significado convencional de um determinado conceito, o indivíduo interioriza-o e promove transformações na sua forma de pensar. Assim surgem diversas maneiras de pensar, que foram construídas pela internalização do saber e do fazer da sociedade em que o sujeito está inserido, sendo o contexto histórico de qualquer sujeito de extrema relevância para a aprendizagem de qualquer conhecimento.

No contexto da aprendizagem é fundamental destacar o papel do professor como articulador nesse processo interativo de construção do conhecimento. Cabe ao professor, no decorrer do processo, reunir as questões que apareceram e sistematizá-las garantindo a seus estudantes o domínio de novos conhecimentos, principalmente no atual contexto da sociedade, onde o professor convive e disputa com as mídias digitais e com alguns pais afirmando que tudo àquilo que se aprende em sala de aula é possível de aprender em casa com o uso de computador e acesso à Internet (Heidrich, Almeida e Bedin, 2022. p.168), algo que na nossa visão não é tão simples de aprender apenas com o uso da internet, especialmente quando falamos sobre a aprendizagem de crianças ou adolescentes que ainda não sabem estabelecer seus horários e formas de estudo.

No ensino de química, assim como no ensino das ciências exatas, é possível identificar diversas dificuldades de aprendizagem que tem como consequência a falta de interesse dos estudantes na aprendizagem de conceitos relacionadas a essa área de conhecimento o que reforça a aquisição de concepções alternativas na aprendizagem de fenômenos ou conceitos próprios das ciências da natureza. Mas o que de fato podemos considerar dificuldades de aprendizagem e quais as suas causas? Baseado nas ideias de Hammill (1990, p. 77) a dificuldade de aprendizagem é uma expressão utilizada para se referir a um conjunto de dificuldades enfrentadas durante o processo de aprendizagem na escola que também podem ser consideradas perturbações psico-neurológicas constituindo a essência de cada indivíduo durante o período escolar.

As dificuldades de aprendizagem também podem gerar concepções alternativas ou erros conceituais, criados a partir de interpretações errôneas dos fenômenos naturais e conceitos apresentados em sala de aula. Segundo Carrascosa (2005, p. 186), erros conceituais são respostas rápidas e seguras, que se repetem de forma insistente e contrariam o conhecimento científico atual. Já as concepções alternativas podem levar os estudantes ao erro conceitual ou ainda como apresenta Fernandez e Marcondes (2006, p. 20), no contexto da química, se caracterizam como explicações para os fenômenos químicos que não são aceitas pela comunidade científica.

Nesse sentido, as concepções alternativas podem ser caracterizadas como as ideias que os estudantes apresentam, tanto na educação básica quanto na educação universitária, que não são aceitas pela comunidade científica (Duarte e Zanatta, 2016 p. 28). Conhecer essas ideias pelos professores é de fundamental importância no processo de ensino e aprendizagem de conceitos químicos, uma vez que os estudantes são rodeados de objetos, pessoas e o conhecimento científico, infestado de estranhos símbolos e conceitos abstratos referentes a um mundo mais imaginário do que real (Pozo e Crespo, 2009 p. 89). Uma vez que os professores conhecem essas ideias isso terá influência significativa na forma em que os recursos didáticos são escolhidos durante o planejamento das aulas de química.

As concepções alternativas são estudadas desde a década de 1980 aqui no Brasil e objeto de investigação na didática das ciências visando estabelecer de que forma essas concepções poderiam ser eliminadas ou transformadas para dar lugar a concepções que fossem coerentes com os conhecimentos científicos vigentes (MARQUES DUARTE e CALEGARI ZANATTA, 2016 p. 28). O conhecimento dessas concepções torna mais fácil para o professor evitar que elas venham a ser geradas ou que dificultem o processo de aprendizagem dos estudantes. Como exemplo podemos citar que no conteúdo de ligações químicas os estudantes tendem a fazer grande confusão ao diferenciar os modelos de ligações iônicas e covalentes, atribuindo a compostos iônicos a nomenclatura ou a ideia da existência de moléculas discretas, como nos compostos covalentes, o que quer dizer que há um entendimento de que esses diferentes modelos de ligações estariam sujeitos às mesmas regras. Muitos estudantes não têm conhecimento de que os compostos iônicos são formados a partir de estruturas que possuem um retículo cristalino e acreditam que as representações apresentadas para unidades iônicas, tais como a do cloreto de sódio, existem apenas como representados nos livros didáticos de química, ou seja, um átomo de sódio (Na) ligado “fisicamente” a um átomo de cloro (Cl). Dentre as concepções que existem a partir do que é discutido no conteúdo de estrutura atômica, uma das mais antigas é a que toma como base que não existem espaços vazios na matéria (Mortimer, 1995, p. 23). Tal concepção, muitas vezes, ainda é baseada nas ideias primárias da constituição da matéria, tal como a apresentada pelo modelo de Dalton, ou seja, de que o átomo é uma esfera maciça.

No intuito de identificar os problemas enfrentados por professores da educação básica no processo de ensino e aprendizagem desses conteúdos, esta pesquisa apresenta uma revisão das principais concepções alternativas relativas ao ensino de conceitos referente aos conteúdos de estrutura atômica e ligações químicas. O intuito é possibilitar a professores da educação básica, principalmente aqueles que atuam com estudantes que tem seu primeiro contato com a química, o reconhecimento dos principais problemas de aprendizagem que existem no

processo de transposição didática desses conteúdos, tornando este artigo um aporte teórico que pode ser utilizado no planejamento didático de aulas de química e na escolha de materiais de ensino para o processo de ensino e aprendizagem desta ciência na educação básica.

2. Metodologia da Pesquisa

Neste trabalho foi realizado uma pesquisa qualitativa de natureza exploratória para se familiarizar com o objeto de estudo e tentar explicar um problema a partir das teorias publicadas em diferentes fontes (Heerdt e Leonel, 2007, p. 67). Nesse sentido, trata-se de uma pesquisa que tenta fornecer aos pesquisadores informações mais precisas sobre a análise e discussão dos resultados de pesquisas já presentes na literatura da área de educação em química sobre os processos de ensino e aprendizagem na abordagem de conteúdos relacionados à estrutura atômica e às ligações químicas.

Segundo Gil (2008, p. 27) as “pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato”. Ainda para esse autor esse tipo de pesquisa tem como intuito desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias que tem em vista a formulação de problemas ou hipóteses pesquisáveis em estudos futuros (Gil, 2008, p. 50).

O levantamento dos artigos foi realizado através de uma busca no banco de dados do portal de periódicos da CAPES a partir de combinações de palavras-chaves relacionadas aos conteúdos foco desta pesquisa, tal como, estrutura atômica e ligações químicas. No intuito de apresentar o maior número de dados, foi utilizado a ferramenta de busca avançada do portal que permite o uso da terminologia comum em português, inglês e espanhol. Uma variedade de combinações de palavras-chaves foram utilizadas na busca, utilizando termos/terminologias como química inorgânica, ensino de química, ensino de ciências, tabela periódica, modelos atômicos, ligações químicas, acrescidas de termos próprios da pesquisa em ensino de química, tais como, concepções dos estudantes, concepções alternativas, conhecimentos prévio, dificuldade de aprendizagem, ensino médio, conceitos prévio, dentre outros. São exemplos dessas combinações:

- Ensino Médio + (estrutura atômica ou ligações químicas);
- Concepções Alternativas + (estrutura atômica ou ligações químicas);
- Dificuldade de Aprendizagem + (estrutura atômica ou ligações químicas);
- Conceitos prévios + (estrutura atômica ou ligações químicas);
- Química Inorgânica + (estrutura atômica ou ligações químicas);
- Ensino de Química + (estrutura atômica ou ligações químicas)

A partir dessa busca, foi possível identificar artigos que abordam as concepções alternativas relativas a cada conteúdo de ensino foco desta pesquisa (1 - estrutura atômica e 2 - ligações químicas). Dentre os artigos selecionados, a pesquisa também permitiu encontrar algumas propostas existentes na literatura que podem ajudar os professores da educação básica a minimizar problemas de aprendizagem para abordagem desses conteúdos. Como o foco da

pesquisa era os trabalhos classificados na categoria “dificuldades e concepções alternativas dos estudantes”, todos os artigos encontrados foram lidos por completo e, em seguida, separados entre os que apresentavam problemas de aprendizagem e os que traziam propostas de ensino para os conteúdos pesquisados. Assim, o escopo desta pesquisa apresenta os problemas relatados na literatura especializada para o processo de ensino e aprendizagem da química e algumas propostas que podem se tornar importantes, aos professores, na busca por minimizar problemas de aprendizagem no ensino desses conteúdos.

Ainda como forma de ampliar o levantamento bibliográfico foram realizadas buscas em base de dados como Scielo e o google acadêmico. Neste último, para relatar as concepções alternativas e as dificuldades de aprendizagem relativos ao tema, foram priorizados a seleção de artigos publicados em revistas especializadas na área de ensino de ciências e que possuem avaliação segundo o Qualis CAPES, uma vez que a intenção do estudo é manter a validade e confiança na produção dos dados a partir das publicações realizadas por pesquisadores da área de ensino de química/ciências de diferentes instituições de ensino superior do Brasil. A amplitude da busca possibilitou encontrar várias propostas de ensino que foram realizadas por professores da educação básica, apresentando possibilidades de ações e atividades que visam minimizar os problemas de aprendizagem da química.

3. Resultados e Discussões

Como forma de iniciar a discussão, foi possível a partir dos artigos construir ideias sobre os aspectos históricos da abordagem desses conteúdos conceituais, assim, um breve levantamento histórico é apresentado, seguido das principais concepções alternativas e algumas propostas de ensino para esses conteúdos.

Desenvolvimento de conceitos relacionados à teoria atômica: Desafios e Propostas

O desenvolvimento da teoria atômica se deu a partir das ideias do matemático John Dalton (1766-1844), através da leitura e interpretação dos fenômenos naturais e também a partir do estudo dos gases (Melzer e Aires. 2015, p. 65). Dalton tinha a preocupação de representar o átomo como sendo uma esfera maciça e seu modelo explicava o comportamento dos gases, fenômenos meteorológicos e da composição da atmosfera a partir da ideia de que essas esferas possuíam uma energia chamada calórico (Melzer e Aires. 2015, p. 67). Após a divulgação da teoria atômica de Dalton, vários estudos foram essenciais para o desenvolvimento da teoria atômica atual, dentre esses, é possível destacar os trabalhos sobre radioatividade, raios catódicos, valência e espectroscopia até chegar às bases da química quântica. Em 1897, o físico experimental Joseph John Thomson (1856-1940), realizou a publicação do trabalho sobre raios catódicos, onde defendeu a ideia de que a matéria possuía carga e em 1904 apresentou uma nova proposta de modelo atômico apresentando o átomo como sendo formado por anéis coplanares de corpúsculos dentro de uma esfera de carga positiva e uniforme. Convidado por Thomson para estudar raios X, Ernest Rutherford (1871-1937), dedicou-se a estudar partículas

radioativas realizando o bombardeamento delas em lâminas metálicas onde observou o espalhamento destas. Observando que o modelo proposto por Thomson era inconsistente com os dados experimentais, trabalhou com a hipótese de que o átomo teria um centro de carga concentrada, rodeado por uma distribuição esférica uniforme de cargas opostas de igual valor. Após alguns anos, Niels Bohr (1885-1962) desenvolveu estudos sobre o comportamento do elétron em parceria com Rutherford e em 1913 apresentou três artigos sobre a constituição dos átomos e moléculas que foram a base da sua teoria atômica.

Todo esse desenvolvimento histórico de como a teoria atômica atual foi construída muitas vezes não é discutido em sala de aula, uma vez que os modelos atômicos são apresentados aos estudantes de forma isolada gerando dificuldades inerentes a apropriação desse conteúdo de ensino. Para Souza, Justi e Ferreira, (2006, p. 23) uma visão mais ampla do ensino desse conteúdo, apresentando os aspectos históricos e filosóficos desse modelo contribuiria para que os estudantes compreendessem como o conhecimento científico se desenvolve e minimizaria as dificuldades de entender tantos modelos diferentes para o átomo.

A literatura mostra uma série de pesquisas sobre as dificuldades de aprendizagem e concepções alternativas para o ensino desse conteúdo, mostrando ideias equivocadas sobre a construção da teoria tal como a dificuldade em aceitar a ideia de que entre as partículas possam existir espaços vazios, apresentada, por exemplo, nos trabalhos de Mortimer (1995), França et al (2009), Melo e Neto (2013), Echeverría (1996); Fernandez e Marcondes (2006); ou ainda, a ideia de que o átomo é a menor partícula da matéria Souza et al (2006), Melo e Neto (2013), França et al (2009). A partir da análise desses trabalhos, é possível identificar as seguintes ideias sobre as concepções alternativas ou dificuldades de aprendizagem para esse conteúdo resumidas na Tabela 1:

Tabela 1 - Concepções alternativas/Dificuldade de Aprendizagem sobre o conteúdo de modelos atômicos.

Concepção Alternativa/Dificuldade de Aprendizagem	Citada em
Consideraram o átomo como uma unidade real e palpável	(Melo e Lima Neto, 2013)
O átomo é a menor partícula do núcleo	(Souza et al, 2006)
Os elétrons estão entre as camadas	(Souza et al, 2006); (França et al, 2009)
Os elétrons giram ao redor do núcleo que está em repouso	(Souza et al, 2006); (França et al, 2009)
Há um limite entre o núcleo e a eletrosfera	(Souza et al, 2006)
O átomo só existe em entidades vivas	(Souza et al, 2006)

O átomo é a menor parte da matéria que conserva suas características	(Souza et al, 2006); (Melo e Lima Neto, 2013); (França et al, 2009)
O átomo pode ser visto em microscópio eletrônico	(Souza et al, 2006)
O átomo é igual às representações apresentados nos livros didáticos	(Souza et al, 2006)
Átomos ou moléculas dilatam-se quando uma substância é submetida a aquecimento	(Mortimer, 1995); (Fernandez e Marcondes, 2006)
Dificuldades em aceitar a ideia de que entre as partículas possam existir espaços vazios	(Mortimer, 1995); (França et al, 2009); (Melo e Lima Neto, 2013); (Echeverría, 1996); (Fernandez e Marcondes, 2006)
Elétrons não se separam do átomo	(França et al, 2009)
O átomo é indivisível	(França et al, 2009)
Confundem átomos com células	(França et al, 2009); (Fernandes e Marcondes, 2006);
Confundem a distribuição eletrônica em camadas com a perda de elétrons	(França et al, 2009)

Fonte: Os autores, 2021

Como pode ser observado a partir da Tabela 1, a maioria desses problemas encontrados estão relacionadas a situações de ensino que necessitam de explicações que ocorre no nível submicroscópico da matéria, ou seja, explicações sobre a estrutura e funcionamento da matéria a partir de conceitos não palpáveis ou visualizáveis, como elétron, eletrosfera, núcleo, próton e tantos outros. Para Taber (2005, p. 85) a forma como o modelo atômico é discutido está muito longe das experiências cotidianas dos estudantes, e termos como próton, nêutron e elétron se configuram como termos técnicos e desconhecidos sendo aprendido de maneira mecânica. Para Pozo (2009, p. 140), essas dificuldades são inerentes ao conteúdo por se tratar da aprendizagem de conceitos também fortemente abstratos, com uso de uma linguagem altamente simbólica e formalizada junto com modelos de representação analógico, algo que pode dificultar ainda mais o processo de aquisição desse conhecimento já que os estudantes concebem como análogo sistemas de conhecimento que são complementares (Pozo. 2009, p. 94).

Nesse sentido, a complexidade desse conhecimento requer dos professores da educação básica não só um olhar de superação às concepções alternativas ou as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, mas também a perspectiva de apresentação do conhecimento construído historicamente e que pode ter significado a partir do contexto ao(s) qual(is) foi(ram) elaborado(s). Propostas de ensino para abordagem do conhecimento relativo à aprendizagem da perspectiva histórica de desenvolvimento dos átomos são apresentadas na literatura e

trazem excelentes resultados de aprendizagem quando abordado a partir dessa perspectiva. Um exemplo de proposta que aborda o desenvolvimento da teoria atômica é apresentado por Melzer e Aires (2015), nela os autores abordam o surgimento dessa teoria apresentando a descrição do período anterior e posterior a construção do laboratório Cavendish na Universidade de Cambridge/Inglaterra. Outra importante contribuição nesse sentido é apresentada por Gandra e Silva (2018, p. 20). Na proposta, os autores propõem uma sequência de atividades que envolve tanto a abordagem histórico-filosófica, uso de situação hipotética para a construção de um modelo na ciência e produção dos modelos atômicos pelos estudantes. Esse tipo de atividade, vai ao encontro da proposição de aprendizagem com intuito de dar significado a cada um dos conceitos estudados, pois há claramente um entrelaçamento das estratégias para mostrar aos estudantes como se dá a construção de modelos e teorias na ciência, Gandra e Silva (2018). Outras propostas de ensino no intuito de minimizar problemas nos processos de ensino e aprendizagem também são encontradas. Dentre elas podemos citar propostas com atividades experimentais, mas sem a abordagem de aspecto histórico de desenvolvimento da teoria (Nery e Fernandez, 2004) e propostas baseadas em uso de recursos multimídias como a de (Silva, Machado e Silveira, 2015). Nessa última as autoras produzem uma excelente sequência didática abordando cada um dos modelos desenvolvidos para a elaboração da estrutura atômica da matéria, perpassando pelo uso de vídeos, simuladores e animações, associados a momentos de contextualização histórica que apresenta desde as primeiras ideias de constituição da matéria, ainda na Grécia Antiga ao surgimento das ideias atomísticas (Silva, Machado e Silveira, 2015 p. 108).

É nesse contexto de constituição da matéria que as formas de interação entre átomos moléculas e íons, ou também nominadas de espécies químicas, dão origem a diversidade de substâncias e materiais que existem na natureza e são formadas e questionadas pelo homem quanto ao seu uso e propriedades. As classificações apresentadas para a composição da matéria remontam de 400 a. C., quando, por exemplo, Demócrito e os seguidores dos epicúreos já propunham na Grécia antiga que os corpos eram formados por inúmeras partículas indivisíveis. O desenvolvimento de importantes equipamentos tecnológicos levou, por exemplo, o homem a produzir novos modelos explicativos para a composição da matéria, possibilitando inclusive classificar as propriedades de diferentes substâncias a partir da combinação entre os elementos químicos. Diante uma variedade de elementos também foi possível obter uma variedade de reações químicas que receberam classificações dentro do campo de conhecimento das reações inorgânicas, algumas vezes denominadas de reações de precipitação, ácido-base, redox e de formação de complexos (Jiménez-Aleixandre, 2010, p.207), mas também sendo apresentado em livros de química ou no decorrer do processo de ensino e aprendizagem dessa ciência dentro da sala de aula a partir de símbolos que muitas vezes não retratam um significado real ou trazem um significado para os estudantes. Como forma de possibilitar aos professores em exercício estratégias de ensino para trabalhar diferentes abordagens sobre os modelos explicativos que constituem os materiais e as substâncias, a partir dos dados levantados nessa pesquisa, foi possível encontrar diversos trabalhos que podem ajudar na formação conceitual desse conteúdo de ensino, a Tabela 2 é um resumo de algumas dessas propostas.

Tabela 2 - Estratégias de ensino para o conteúdo de estrutura atômica.

Estratégia	Artigo	Autores
	<p>A experimentação e a superação dos obstáculos epistemológicos no processo de compreensão da estrutura atômica</p> <p><i>(REnCiMa - Revista de Ensino de Ciências e Matemática, v. 2, n. 2, p. 144-154, 1 jul. 2011)</i></p>	<p>Silva Júnior, Ademir de Jesus; Wartha, Edson José.</p>
Abordando Experimentação	<p>A temática “Cheiro” no ensino da química: Mapas mentais como estratégia metodológica</p> <p><i>(Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, n.º Extra 0, p. 1043-8, 2013)</i></p>	<p>Broietti, Fabiele Cristiane Dias; Alfaya, Antonio Alberto da Silva; Martorano, Simone Alves de Assis; Sutil, Gricielle Aparecida.</p>
	<p>Alimentos enriquecidos com ferro: uma proposta de atividade experimental para o ensino de conceitos químicos na educação básica</p> <p><i>(Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, nº Extra 0, p. 170-175, 2013)</i></p>	<p>Silva, Deisiane Aparecida; Alves, Maykon Rodrigues; Deimling, Natalia Neves Macedo; Crespan, Estela dos Reis; Romero, Rafaele Bonzanini; Vieira, Samira Ayoub; Romero, Adriano Lopes.</p>
	<p>Combustão, chamas e testes de chama para cátions: proposta de experimento</p> <p><i>(Química Nova na Escola, N° 23, p. 43-48, MAIO 2006)</i></p>	<p>Gracetto, Augusto César; Hioka, Noboru; Santin Filho, Ourides.</p>
	<p>Estrutura Atômica e Formação dos Íons: Uma Análise das Ideias dos Alunos do 3º Ano do Ensino Médio</p> <p><i>(Química Nova na Escola, Vol. 31, N° 4, p. 231-234, NOVEMBRO 2009)</i></p>	<p>França, Angella da Cruz Guerra; Marcondes, Maria Eunice Ribeiro; Carmo, Miriam Possar do.</p>
	<p>Fluorescência e Estrutura Atômica: Experimentos simples para abordar o tema</p> <p><i>(Química Nova na Escola, N° 19, p. 39-42, MAIO 2004)</i></p>	<p>Nery, Ana Luiza Petillo; Fernandez, Carmen.</p>

	Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr <i>(Ciência & Educação, Bauru, v. 20, n. 2, p. 481-495, 2014)</i>	Stefanello Silva, Giovanna; Fortes Braibante, Mara Elisa; Schmitz Braibante, Hugo Tubal; Selvero Pazinato, Maurícius; Cantarelli Trevisan, Marcele.
Abordando Situações Problematicadoras	Abordagem de conceitos relativos ao modelo de Bohr por resolução de situação-problema <i>(Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, n.º Extra, p. 1203-8, 2013)</i>	Campos, Arthur Ferreira; Silva, Genival Ferreira da.
	Abordagem de ligação metálica numa perspectiva de ensino por situação-problema <i>(Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 93-107, mai./ago. 2016)</i>	Ferreira, Imerson da Mota; Fernandes, Lucas dos Santos; Campos, Angela Fernandes.
	Elaboração de Hipóteses em Atividades Investigativas em Aulas Teóricas de Química por Estudantes de Ensino Médio <i>(Química Nova na Escola, Vol. 35, N° 3, p. 158-165, AGOSTO 2013)</i>	Kasseboehmer, Ana Cláudia; Ferreira, Luiz Henrique.
	Situações-problema como Estratégia Didática para o ensino dos Modelos Atômicos <i>(Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, vol 8, núm. 2, p. 181-201, mai-ago.2015)</i>	Prates Júnior, Mauro de Souza Lima; Simões Neto, José Euzébio.
Dramatização	A dança do átomo: Uma dramatização no ensino de ciências <i>(Revista Di@logus, Volume 2, nº 1)</i>	Dill, Ricardo Eugenio; Richter, Luciana; Siqueira, André Boccasius.

Fonte: os autores, 2021.

Desenvolvimento de conceitos relacionados às ligações químicas: Desafios e Propostas

Historicamente, as primeiras ideias sobre ligações químicas foram sugeridas pelos filósofos gregos Leucipo e Demócrito que acreditavam na existência de “ganchos” nos átomos que através deles se uniam formando a matéria. Durante muitos anos não houve avanços nos estudos sobre a composição da matéria e apenas em 1661, Robert Boyle (1627 – 1691),

formulou a ideia de que a matéria é constituída de “aglomerados de partículas” e ao sofrer mudanças químicas formavam novos arranjos ou como ele denominava, arranjo de aglomerados. Isaac Newton (1643 – 1727) por sua vez, postulou que as partículas eram atraídas por uma “força” que era extremamente forte quando se encontravam próximas e em distâncias maiores não teria efeito significativo e que as “operações químicas” aconteceriam quando os átomos estivessem em pequenas distâncias (Universidade Estadual Paulista, 2012, p. 4-6).

Durante o século XIX vários pesquisadores contribuíram para a construção da ideia de ligação química, dentre eles podemos citar Edward Frankland (1825-1899), que a partir de resultados dos seus experimentos identificou a capacidade dos átomos em formar combinações introduzindo o conceito de valência. Mesmo sem ter proposto o conceito de ligação química, o mérito pela elaboração do conceito de valência também pôde ser atribuído ao químico Friedrich August Kekulé (Araújo Neto, 2007, p. 14). Segundo esse autor os debates acerca da noção deste conceito sempre geraram discussões acirradas entre historiadores e os seus protagonistas, desenvolvendo um sentido mais amplo e uma resposta mais concisa quando apresentada suas diferenciações entre o conceito de valência e o conceito de afinidade química, por exemplo. Ainda para esses autores, a forma como a história da noção de valência é apresentada a partir de como novas teorias surgem, do interior de situações em que é possível observar o trabalho empírico e de disputas conceituais que ocorre para aqueles que se movem em meio à ciência é algo que no entendimento da abordagem histórica podem ser particularmente fecundas para o progresso de um determinado domínio conceitual ou conhecimento (Araújo Neto, 2007, p. 22).

Ao longo do tempo diferentes sentidos foram atribuídos ao termo valência, sendo considerado inclusive como sinônimo de ligação química, ou como sua causa, e também caracterizado como adjetivo em expressões como elétrons de valência, camada de valência e ligação de valência (Nogueira e Porto, 2019. p. 238). Em 1916, Gilbert Newton Lewis, com o intuito de explicar a valência publicou o trabalho “The atom and the molecule” (Universidade Estadual Paulista, 2012, p.6) onde acreditava que a causa para as diversas combinações químicas existentes era o emparelhamento de elétrons disponíveis na camada de valência do átomo. O modelo de ligação química proposto por Lewis apresentava algumas limitações, pois não explicava porque os elétrons em moléculas eram encontrados em pares e também se mostrou incapaz de explicar a importância do par de elétrons numa ligação covalente.

Proposta por Walter Heitler e Fritz London em 1927 e desenvolvida por Slater (1929) e Linus Pauling (1931), o modelo da ligação de valência surgiu com a primeira aplicação da mecânica quântica e descrição da ligação covalente em termos de orbitais atômicos como uma forma aproximada para resolver a equação de Schrödinger. Assim como no modelo proposto por Lewis, o modelo da ligação de valência apresentava limitações, pois se mostrava incapaz de explicar as propriedades de algumas moléculas, como por exemplo, o paramagnetismo do oxigênio. Em seguida surgiu o modelo do orbital molecular, proposto por Robert Mulliken (1928) que se destacou pela sua capacidade de demonstrar que a molécula de oxigênio era paramagnética. A partir de algumas dessas ideias, foi possível verificar que a principal diferença da teoria do orbital molecular das demais teorias está no fato de que nela os elétrons de valência estão distribuídos em toda molécula e não em um único átomo ou pares de átomos como proposto nas teorias anteriores. A partir das ideias desta teoria, quando dois átomos se

aproximam e seus orbitais atômicos se sobrepõem são formados dois orbitais moleculares chamados de orbital ligante (menos energético) e antiligante (mais energético) e a estabilidade da molécula é demonstrada a partir da ideia de que a sua energia é menor quando os átomos estão unidos em relação aos átomos quando estão separados. A partir dessa teoria também foi possível introduzir o conceito de ordem de ligação que possibilita medir a “força” de uma ligação química. Apesar de explicar uma série de ligações entre moléculas diatômicas, ela apresenta uma série de limitações por ter falhas quando aplicada às ligações no estado sólido, porém, ainda se configura como uma boa explicação às limitações apresentadas pela teoria de Lewis do par eletrônico e a teoria da ligação de valência (Barreto e Bejarano, 2016, p. 1-12).

A partir dessa abordagem histórica é possível perceber que há um entrelaçamento na forma como foi se desenhando a elaboração de conceitos relacionados às interações entre os átomos (ligações químicas) e a forma como se procurava entender a compreensão da estrutura da matéria nas primeiras décadas do século XX, ideia que corrobora com Bensaude Vincent, B. e Stengers, I (1997) apud Martínez, L. M (2015, p. 49-50) quando o autor aponta que não há como entender de forma independente ambos conteúdos conceituais nesse período histórico, e que se configura como uma limitação encontrada na maioria dos livros de ciências (Tsaparlis e Finlayson, 2014, p. 257).

Tomando como princípio norteador as ideias de Maldaner e Costa-Beber, (2010, p. 98), também é possível entender a aprendizagem do conteúdo de ligações químicas como estruturante para a formação do conhecimento químico, o que de fato possibilita compreensões acerca do mundo material e das propriedades geradas por substâncias e materiais a partir de uma ampla variedade de combinações, ocasionado entre os átomos que se estabelecem gerando as mais diferentes combinações de ligações químicas por meio de interações que ocorrem no nível atômico. É também baseado nesse princípio que a discussão desse conteúdo de ensino se torna de difícil compreensão para muitos estudantes da educação básica, uma vez que a abordagem de muitos conceitos ocorre a partir de representações descritas sobre o nível submicroscópico da matéria, algo que ocasiona diferentes problemas na aprendizagem desse conteúdo aos estudantes de qualquer nível de ensino. É nesse sentido que discutir esse conhecimento a partir das propriedades das substâncias e materiais pode facilitar a aprendizagem desse conteúdo a partir de contextos próximos ao conhecimento dos estudantes, tal como, quando se inicia a discussão dos modelos de ligação a partir de fenômenos macroscópicos como a condução de eletricidade que pode ser ocasionada pela dissolução do sal de cozinha em água, mas não pelo açúcar quando é dissolvido em água, ou seja, a explicação com base no modelo de ligação que justifica as interações do cloreto de sódio em água, iônica, não é o mesmo modelo de ligação que explica a dissolução do açúcar em água, covalente, já que no primeiro há a ideia de formação de íons e no segundo as moléculas da glicose presente no açúcar não se dissociam em meio as moléculas de água e por isso não conduzem eletricidade.

É a partir dessas ideias que a discussão em sala de aula rege em torno da elaboração de conceitos que tentam definir como os átomos, moléculas e íons interagem entre si, gerando nos estudantes uma série de ideias que divergem das discussões conceituais normalmente aceitas no meio científico, tal como a ideia de que nas *ligações iônicas ocorre a “transferência de elétrons”* (Fernandez e Marcondes, 2006; Ferreira et al., 2013; Mendonça et al., 2006), a ideia

de que a ligação química ocorre apenas quando há compartilhamento de elétrons, ou de que são formadas apenas para satisfazer a regra do octeto; ou ainda a confusão entre diferenciar quando há a formação de uma ligação covalente e as interações intermoleculares. A partir dos dados levantados nessa pesquisa foi possível encontrar uma série de outros problemas na aprendizagem desse conteúdo em estudantes da educação básica, vide Tabela 3.

Tabela 3 - Concepções alternativas/Dificuldade de Aprendizagem sobre o conteúdo de ligações químicas.

Concepção Alternativa/Dificuldade de Aprendizagem	Citada em
Confundem ligação metálica com covalente	(Ferreira et all, 2013)
Consideram ligação química apenas quando há compartilhamento de elétrons	(Ferreira et all, 2013); (Fernandez e Marcondes, 2006); (Fernandes et all 2010)
As ligações covalentes são fracas, uma vez que compostos covalentes apresentam baixos pontos de ebulição em geral	(Fernandez e Marcondes, 2006); (Fernandes et all 2010)
Ligações covalentes são fracas	(Fernandez e Marcondes, 2006); (Fernandes et all 2010)
Elétrons são compartilhados igualmente na ligação covalente	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Ligações iônicas e metálicas não são ligações de verdade, no sentido de ligações covalentes	(Ferreira et all, 2013); (Fernandez e Marcondes, 2006)
As ligações seriam formadas apenas para satisfazer a regra do octeto	(Ferreira et all, 2013); (Fernandez e Marcondes, 2006)
Uma ligação covalente mantém os átomos unidos porque a ligação está compartilhando elétrons	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Ligações iônicas são a transferência de elétrons	(Fernandez e Marcondes, 2006); (Ferreira et all, 2013); (Mendonça et all, 2006)
Existe uma repulsão igualitária entre as ligações e a polaridade da ligação determina a geometria da molécula	(Fernandez e Marcondes, 2006)
A polaridade de uma ligação é dependente do número de elétrons de valência em cada átomo envolvido na ligação	(Fernandez e Marcondes, 2006)

A carga iônica determina a polaridade da ligação	(Fernandez e Marcondes, 2006)
A ligação segura os átomos juntos e libera energia quando é rompida	(Fernandez e Marcondes, 2006)
A formação da ligação requer energia e sua quebra libera energia	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Todas as reações são mais favoráveis em altas temperaturas	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Todas as reações exotérmicas são espontâneas	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Somente as ligações iônicas fracas podem ser rompidas em processos de dissolução	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Uma reação ocorre pois um dos reagentes é mais reativo que o outro	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Os elétrons numa ligação não se movem	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Fazem confusão entre camadas e orbitais	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Confusão entre a ligação covalente e iônica	(Fernandez e Marcondes, 2006); (Fernandes et all 2010)
Compostos iônicos vistos como entidades discretas, sem retículo cristalino	(Fernandez e Marcondes, 2006); (Fernandes et all 2010)
Confusão entre ligação covalente e forças intermoleculares	(Fernandez e Marcondes, 2006); (Mendonça et all, 2006)
Ligações covalentes são rompidas durante uma mudança de estado físico	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Elétrons de uma ligação pi se movimentam realizando uma figura de um oito ao redor do núcleo	(Fernandez e Marcondes, 2006)
Não existe ligação entre metais, eles são encontrados na forma atômica	(Fernandes et all 2010)
Existem ligações iônicas em metais porque compostos iônicos são bons condutores elétricos	(Fernandes et all 2010)

Fonte: Os autores, 2021

Obs.: Para fins de apresentação dos dados não foram considerados trabalhos sobre as concepções alternativas publicadas em anais de eventos tal como congressos, encontros e simpósios.

As dificuldades de falar sobre definições científicas são pilares da ciência (Tamayo e Quintana, 2012, p. 10). Para o estudo dos conceitos relacionados às ligações químicas isso não é diferente já que várias confusões conceituais são encontradas quando se estuda esse modelo explicativo sobre a composição de como a matéria é constituída. Um exemplo claro disso, é encontrado no trabalho de Fernandez e Marcondes (2006) que explicam que há uma dificuldade própria dos estudantes para enunciar os conceitos de ligação covalente com os de interações intermoleculares ou com as ligações iônicas. Esses problemas de aprendizagem podem estar associados ao próprio modelo teórico que fundamenta as ligações químicas que são caracterizadas como múltiplas, complexas (Tamayo e Quintana, 2012, p. 10) e difíceis (Caamaño, 2016 p. 8). Outras questões a serem pensadas sobre a dificuldade dos estudantes na aprendizagem desse conteúdo, como já falado anteriormente para o conteúdo de estrutura atômica, se deve ao fato de que a estrutura da ciência procura entender fenômenos de natureza abstrata. Nesse sentido, Pozo (2009, p. 95), afirma que as concepções alternativas dos estudantes se deparam com a maior parte dos conceitos e fenômenos científicos como algo não arbitrário ou não casual e que não são o resultado de um erro, de uma irregularidade ou falha do sistema cognitivo, ao contrário, são produto de um aprendizado que na maior parte dos casos é informal ou implícita e que tem como objetivo estabelecer regularidades no mundo, torná-lo mais possível e controlável.

A constituição da matéria e as formas de interação entre as espécies químicas que dão origem a uma grande diversidade de substâncias e materiais pode se caracterizar como uma das possibilidades de discutir esse conhecimento, já que sobre essas formas de classificação, apresentadas ainda por Demócrito e os seguidores dos epicúreos na Grécia antiga, já propunham que os corpos eram formados por inúmeras partículas indivisíveis. Esse conhecimento, útil séculos depois, possibilitou o desenvolvimento de importantes equipamentos tecnológicos e levou o homem a produzir novos modelos explicativos para a composição da matéria, possibilitando inclusive classificar as propriedades de diferentes substâncias a partir da combinação entre os diferentes elementos químicos ou moléculas, tal como a explicação que é dada sobre a volatilidade de algumas substâncias orgânicas (álcool etílico e acetona) que a temperatura ambiente se encontram no estado líquido e podem se volatilizar facilmente pela quebra de ligações intermoleculares, enquanto que algumas substâncias sólidas que têm sua constituição explicada a partir de modelos de ligação iônica, tal como o sal de cozinha e o bicarbonato de sódio, não tem a mesma facilidade de transitar de fase quanto as orgânicas voláteis.

Essa diversidade de elementos e de moléculas também ajudam a explicar diversas combinações que geram uma variedade de reações químicas que receberam classificações dentro do campo de conhecimento das reações inorgânicas, assim denominadas de reações de precipitação, ácido-base, redox e de formação de complexos (Jiménez-Aleixandre et. al, 2010 p. 207), todas funcionando a partir da quebra de ligações químicas de caráter intramolecular e intermolecular.

Propostas de ensino que podem minimizar as dificuldades de aprendizagem e as concepções alternativas são apresentadas na literatura da área de ensino de química. Variadas propostas são condizentes a melhoria desse processo, e abarcam desde o enfoque de unidades didáticas com enfoque construtivista (García Franco e Garritz Ruiz, 2006) até propostas com uso de estratégias diversificadas que abordam não só aspectos da história da ciência, mas também modelagem (Mendonça e Justi, 2009) e tantas outras como a de Ferreira e Del Pino (2003) que além de modelagem também envolve experimentação, todas elas, de certa forma, podem ajudar os professores em serviço a busca de melhoria para a ação prática desse conteúdo de ensino. A Tabela 4 apresenta uma série de trabalhos na literatura em educação química, disponíveis a partir de revistas especializadas que podem ajudar esses professores.

Tabela 4 - Estratégias de ensino para o conteúdo de ligações químicas.

Estratégia	Artigo	Autores
Experimentação	Abordagem problematizadora para o ensino de interações intermoleculares e conceitos afins <i>(Química Nova na Escola, N° 29, p. 20-23, AGOSTO 2008)</i>	Francisco Júnior, Wilmo Ernesto.
	Experimentação e modelagem: estratégias para a abordagem de ligações químicas no ensino médio <i>(ACTA SCIENTIAE, Canoas, V. 5, n. 2, p. 41-48, Jul./Dez. 2003)</i>	Ferreira, Maira; Del Pino, José Claudio.
Problematização	A abordagem de ligação química numa perspectiva de ensino por situação problema <i>(Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, n.º Extra, pp. 3211-5, 2013)</i>	Fernandes, Lucas Santos; Campos, Angela Fernandes.
Modelagem	Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte I <i>(Educación Química, Volume 20, Supplement, P. 282-293, June 2009)</i>	Mendonça, Paula Cristina Cardoso; Justi, Rosária da Silva.
Atividade Lúdica	Os Jogos Educacionais de Cartas como Estratégia de Ensino em Química <i>(Química Nova na Escola, Vol. 34, N° 4, p. 248-255, NOVEMBRO 2012)</i>	Focetola, Patrícia Barreto Mathias; Castro, Pedro Jaber; Souza, Aline Camargo Jesus de; Grion, Lucas da Silva; Silva Pedro, Nadia Cristina da; lack, Rafael dos Santos;

Almeida, Roberto Xavier de; Oliveira, Anderson Cosme de; Barros, Claudia Vargas Torres de; Vaitsman, Enilce; Brandão, Juliana Barreto; Guerra, Antonio Carlos de Oliveira; Silva, Joaquim Fernando Mendes da.

Uso de mecanismo dinâmico e interativo no ensino de química: um relato de sala de aula
(*Revista Holos, Ano 32, Vol. 3, p. 132-136*)
Camelo, André Luiz Melo; Mazzeto, Selma Elaine ; Vasconcelos, Pedro Hermano Menezes de.

Fonte: os autores, 2021.

4. Considerações finais

Nesse artigo foram apresentadas algumas das principais dificuldades de aprendizagem e concepções alternativas que tomam como base o ensino de conceitos relativos à estrutura da matéria e das ligações químicas. Propostas como essa têm o intuito de ajudar os professores e professoras a identificar facilmente os principais problemas de aprendizagem no ensino desses conteúdos, possibilitando-os a ter uma postura proativa na busca por identificar os problemas de aprendizagem que cercam os estudantes da educação básica na aquisição de conceitos químicos.

A forma como os conceitos relacionados ao conteúdo de estrutura da matéria e ligações químicas são abordados, muitas vezes como um conhecimento pronto e acabado, sem mencionar alguns dos principais fatos históricos de como ocorreu essa construção pode ser algo que reforça a manutenção das concepções alternativas que existem para esse conteúdo de ensino, algo que dificulta a compreensão de que a ciência química é construída somente a partir de fatos e ideias isoladas, sem se apresentar como construto desenvolvido ao longo do tempo.

Isso acontece tanto quando se aborda o conteúdo de estrutura atômica com ideias advindas, muitas vezes, das relações analógicas que são apresentadas para a construção dos modelos que foram se estabelecendo ao longo da história, quanto no conteúdo de ligações em que as apresentações são feitas em definições do tipo “a ligação iônica ocorre quando um metal doa definitivamente um ou mais elétrons para um átomo metálico”. Em ambos os casos o conceito é apresentado de forma pronta e acabada, sem apresentar a relação de construção desse modelo teórico com a composição dos materiais, algo que talvez reforce a formação de dificuldades de aprendizagem e as concepções alternativas que existem para esses dois conteúdos de ensino.

Como na maioria dos relatos deste estudo, as concepções foram citadas por estudantes que já haviam estudado os conteúdos em análise sendo possível considerar que uma

investigação prévia das ideias que os estudantes possuem a respeito de determinados conteúdos pode dar um norte ao planejamento das aulas por parte dos docentes e melhorar a aprendizagem da química por parte desses estudantes. Basicamente uma investigação com esse fim poderá ser realizada de forma primária com a utilização de questionários previamente distribuídos aos estudantes quando é abordado o conteúdo que será estudado em sala de aula. Assim, é possível solicitar a elaboração de modelos explicativos para o conhecimento em estudo a partir da observação de fenômenos químicos apresentados em diferentes atividades, tal como, as atividades experimentais, apresentação de vídeos, simulações advindas de softwares educacionais e tantas outras possibilidades como as apresentadas aqui neste artigo.

5. Referências

- Andrades Heidrich, R.; Medeiros Martins De Almeida, C.; Bedin, E. **Observações e práticas pedagógicas de química baseadas nas tecnologias digitais no ensino médio**. Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC, v. 12, n. 1, p. 167-185, 29 mar. 2022.
- ARAUJO NETO, Waldmir Nascimento de. **A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural**. Química Nova na Escola. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. Brasil, N° 7, p.13-24, DEZEMBRO 2007.
- BARRETO, Uarison Rodrigues; BEJARANO, Nelson Rui Ribas. **Modelos de ligação química: uma discussão filosófica**. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ) Florianópolis, SC, Brasil. P. 1-12. JULHO 2016.
- BENSAUDE VINCENT, B. e STENGERS, I (1997) apud MARTÍNEZ, L. M. **Enlazando didáctica e historia de la ciencia: clasificaciones y modelos de las uniones químicas en los libros de texto de física y química de secundaria (2007-2016)**. Educació Química EduQ, nº 21, p. 45-53, 2015.
- CAAMAÑO, Aureli. **Un enfoque para vencer errores y ambigüedades: Enlace químico y estructura de las sustancias en secundaria**. Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales. Nº 86, p. 8-18. Octubre 2016.
- CARRASCOSA, J. **El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen**. Revista Eureka sobre Enseñanza e Divulgación de las Ciencias, Cádiz, v. 2, n. 2, p. 183-208, 2005. Disponível em: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/16288/Carrascosa_2005A.pdf> Acesso em 01 abr. 2019.
- COSTA-BEBER, L.; MALDANER, O. A. **Níveis de significação de conceitos e conteúdos escolares químicos no ensino médio: compreensões sobre ligações químicas**. Vidya (Santa Maria. Impresso), v. 29, p. 97-114, 2010.
- DUARTE, Bruna Marques; ZANATTA, Shalimar Calegari. **O ensino de ciências e as concepções alternativas no contexto das teorias epistemológicas do século XX**. Paradigma, Maracay, v. 37, n. 1, p. 26-45, jun. 2016.
- ECHEVERRÍA, Agustina Rosa. **Como os estudantes concebem a formação de soluções**. Química Nova na Escola. O aluno em foco. Brasil, N° 3, p.15-18, MAIO 1996.
- FERNANDES, Lucas dos Santos; CAMPOS, Ângela Fernandes; MARCELINO JUNIOR, Cristiano de Almeida Cardoso. **Concepções alternativas dos estudantes sobre ligação química**. Experiências em Ensino de Ciências – V5(3), p. 19-27, 2010.

- FERNANDEZ, Carmen; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. **Concepção dos estudantes sobre ligação química**. Química Nova na Escola. O aluno em foco. Brasil, N° 24, p.20-24, NOVEMBRO 2006.
- FERREIRA, I. da M.; CAMPOS, A. F.; FERNANDES, L. dos S. **Concepções alternativas dos alunos sobre ligação metálica**. IX Congreso Internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. Girona. P. 2403-2408. SETEMBRO 2013.
- FERREIRA, Maira; DEL PINO, José Claudio. **Experimentação e modelagem: estratégias para a abordagem de ligações químicas no ensino médio**. Acta Scientiae; Vol 5, No 2, 2003.
- FRANÇA, Angella da Cruz Guerra; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro; CARMO, Miriam Possar do. **Estrutura Atômica e Formação dos Íons: Uma Análise das Ideias dos Alunos do 3º Ano do Ensino Médio**. Química Nova na Escola. O aluno em foco. Brasil, Vol. 31, N° 4 , p. 275-282, NOVEMBRO 2009.
- GANDRA, L. P.; & SILVA, G, R. (2018). **Modelagem e história da ciência: Uma abordagem pedagógica para a estrutura atômica no 9º ano do ensino fundamental**. Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias, 13(1), 14-32. <http://doi.org/10.14483/23464712.11585>.
- GARCÍA FRANCO, Alejandra; GARRITZ RUIZ, Andoni. **Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico**. Universidad Nacional Autónoma de México, México. ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, 24(1), p. 111–124, 2006.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008. ISBN 978-85-224-5142-5
- HAMMILL, D. D. **On defining learning disabilities: An emerging consensus**. Journal of Learning Disabilities, vol 23, n. 2, p.74-84, 1990.
- HEERDT, Mauri Luiz; LEONEL, Vilson. **Metodologia científica e da pesquisa: livro didático**. 5. Ed. rev. e atual. Palhoça: Unisul Virtual, 2007. 266 p. ISBN 978-85-7817-029-5.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (Coord); CAAMAÑO, A.; OÑORBE, A.; PEDRINACI, E. e PRO, A. **Enseñar ciencias**. 4º ed. Barcelona: Editora Graó, 2010.
- LURIA, A. **"Alter word to the Russian Edition"**. The Collected Works of L. S. Vygotsky. Nova York, Plenum Press. 1987.
- MELO, Marlene Rios; LIMA NETO, Edmilson Gomes de. **Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química**. Química Nova na Escola. Pesquisa no Ensino de Química. Brasil, Vol. 35, N° 2, p. 112-122, MAIO 2013.
- 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. Vol. 11 (22) p.62-77, Jan-Jun 2015.
- MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso; JUSTI, Rosária; OLIVEIRA, Mary Mendes de. **Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências - RBPEC. VOL. 6, N° 1, JANEIRO 2006.
- MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso; JUSTI, Rosária. **Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte I**. Educación Química. V. 20, P. 282-293, Junho 2009.
- MORTIMER, Eduardo Fleury. **Concepções atomistas dos estudantes**. Química Nova na Escola. O aluno em foco. Brasil, N° 1, p.23-26, MAIO 1995.

- NERY, Ana Luiza Petillo; FERNANDEZ, Carmen. **Fluorescência e Estrutura atômica: Experimentos simples para abordar o tema**. Química Nova na Escola. Brasil, N° 19, p. 39-42, MAIO 2004.
- NOGUEIRA, Helena S. Alvares; PORTO, Paulo Alves. **O conceito de valência em livros didáticos de química geral entre as décadas de 1890 e 1940**. Química Nova, Vol. 42, N° 2, 237-248, 2019.
- MARQUES DUARTE, Bruna; CALEGARI ZANATTA, Shalimar. **O ensino de ciências e as concepções alternativas no contexto das teorias epistemológicas do século XX**. Paradigma, Maracay, v. 37, n.1, p.26-45, jun. 2016. Disponível em http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512016000100003&lng=es&nrm=iso.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SILVA, Glenda Rodrigues da; MACHADO, Andréa Horta; SILVEIRA, Katia Pedroso. **Modelos para o Átomo: Atividades com a Utilização de Recursos Multimídia**. Química Nova na Escola. São Paulo-SP, BR. Vol. 37, N° 2, p. 106-111, MAIO 2015.
- SOUZA, Vinícius Catão de Assis; JUSTI, Rosária da Silva; FERREIRA, Poliana Flávia Maia. **Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas**. Investigações em Ensino de Ciências – V11(1), pp. 7-28, 2006.
- TABER, Keith. **Chemical Misconceptions: Prevention, diagnosis and cure: Theoretical background**. V. 1. Editora Royal Society of chemistry. London/UK.
- TAMAYO, C. Blas A Estévez; QUINTANA, Magnolia Claro. **Revisión Teórica de los conceptos de enlace iónico y covalente y clasificación de las sustancias**. Revista Cubana de Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. Vol. 24, N° 1, pp. 10-18. 2012.
- TSAPARLIS, Georgios; FINLAYSON, Odilla E. **Physical chemistry education: its multiple facets and aspects**. Chemistry Education Research and Practice, nº 15, p. 257--265, 2014.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Rede São Paulo de Formação Docente. **Ligação Química**. Unesp/Redefor, Módulo III, Disciplina 05. São Paulo - SP, 2012. Disponível em: https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/41585/10/2ed_qui_m3d5.pdf. Acesso em 20 de Abril de 2020.
- VYGOTSKY, Lev S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.