

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO E LICENCIATURA EM QUÍMICA

AMANDA LUÍZA SZYCHTA

**LIGAÇÕES QUÍMICAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO
PNLD-2015: ANÁLISE DE CONTEÚDO SOBRE UM OLHAR DAS
CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

AMANDA LUÍZA SZYCHTA

**LIGAÇÕES QUÍMICAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO
PNLD-2015: ANÁLISE DE CONTEÚDO SOBRE UM OLHAR DAS
CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso Superior de Bacharelado e Licenciatura em Química Tecnológica do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *Campus* Curitiba, como requisito da disciplina.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein

CURITIBA

2015

AMANDA LUÍZA SZYCHTA

**LIGAÇÕES QUÍMICAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO
PNLD-2015: ANÁLISE DE CONTEÚDO SOBRE UM OLHAR DAS
CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso **aprovado** como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel e Licenciada em Química pelo Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela seguinte banca examinadora:

Membro 1 – Profa. Dra. Maurici Luzia Del Monego
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Membro 2 – Profa. Dra. Luciana Didonet Del-Fabro
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Orientadora – Profa. Dra. Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Coordenadora de Curso – Profa. Dra. Danielle Caroline Schnitzler

Curitiba, 10 de julho de 2015.

RESUMO

SZYCHTA, Amanda Luíza. **Ligações químicas em livros didáticos de química do PNLD-2015: análise de conteúdo sobre um olhar das concepções alternativas.** Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado e Licenciatura em Química Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Curitiba, 2015.

O livro didático desempenha papel fundamental nas relações entre o ensino e o cotidiano da prática docente no ensino médio, sendo, por isso, objeto de diversas pesquisas. Uma delas é direcionada para as dificuldades que os alunos apresentam no processo de ensino-aprendizagem de conceitos de química, muitas vezes, gerado pela forma como o conteúdo é abordado e apresentado nos livros didáticos. No ensino de química, o conteúdo de ligações químicas é um dos que mais gera dificuldades de aprendizagem justamente por necessitar da compreensão do comportamento de modelos teóricos, podendo ser facilmente objeto de analogias errôneas e concepções alternativas ou espontâneas. Elas surgem quando os alunos apresentam explicações para os fenômenos, muitas vezes, diferentes daquelas que seriam aceitáveis cientificamente, dificultando o processo de ensino-aprendizagem. Assim, objetivou-se avaliar quatro livros didáticos de química, indicados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015, quanto à presença de concepções alternativas no conteúdo de ligações químicas, a partir da revisão dos estudos sobre as concepções alternativas dos alunos e da análise dos livros didáticos, utilizando a metodologia de Bardin de análise dos dados. A revisão foi fundamentada principalmente no estudo de Gastón Bachelard, que dividiu em cinco categorias os obstáculos epistemológicos, os quais podem levar à concepção alternativa, que ocorrem no processo de ensino-aprendizagem. A metodologia utilizada consiste na realização de uma leitura primeira, em que surgem hipóteses ou questões norteadoras, e num segundo momento, em que são codificadas as semelhanças e os contrastes, investigando todo o texto. Nos resultados, todos os livros apresentaram pontos positivos e negativos, em relação à abordagem do conteúdo, levando a maiores ou menores induções de concepções alternativas. O livro que se destacou pela menor indução de concepções alternativas foi dos autores Eduardo Mortimer e Andréa Machado, principalmente por fazer a diferenciação das ligações químicas e forças intermoleculares. Porém, ainda não foi um livro ideal na sua plenitude, podendo passar por reformulações pedagógicas e didáticas em alguns pontos, levando em consideração a importância das concepções alternativas no processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: concepções alternativas, PNLD, ligações químicas, ensino de química.

ABSTRACT

SZYCHTA, Amanda Luíza. **Chemical bonds in chemistry textbooks of PNLD-2015: content analysis on a look of alternative conceptions.** Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado e Licenciatura em Química Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Curitiba*, 2015.

The textbook plays a main role in the relationship between learning and teaching. For that reason, the textbook is the object of several studies. One of those studies focus on understanding the difficulties of teaching and learning Chemistry concepts due of how they are displayed in the textbooks. In Chemistry, chemical bond is the topic that creates a lot of understanding problems for the students. That difficulty is based on comprehending the created bond models, which are object of wrong analogies and alternative conceptions. The wrong analogies come from student's explanations of the phenomenon that is not scientific acceptable. Thus, the objective of this study is to analyze four different Chemistry textbooks, used in the National Plan of Textbooks (PNLD) of 2015, trying to find alternative conceptions of chemical bonds based on Bardin's methodology of data analysis. The analysis was based mainly on Gastón Bachelard's study, who divided the learning and teaching obstacles into five categories, which may lead to alternative conceptions, that occur in the teaching-learning process. The methodology consists firstly to read and identifying different hypothesis, then trying to find connections between them and models created. In the results, all the books had positive and negative points in relation to the content of the approach, leading to higher or lower inductions alternative conceptions. The book that stood out for lower induction of alternative conceptions was the author Eduardo Mortimer and Andrea Machado, mainly to differentiate the chemical bonds and intermolecular forces. But still it was not an ideal book in its entirety, can go through pedagogical and didactic restatements at some points, taking into account the importance of alternative conceptions in the teaching-learning process.

Key words: alternative conceptions, PNLD, chemical bond, chemistry teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 - LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS DO PNLD –2015.....	26
FIGURA 1 - MODELO PARA A LIGAÇÃO METÁLICA.....	40
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DA MOLÉCULA DE ÁGUA.....	47
LEGENDA 1 - LEGENDA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA LIGAÇÃO IÔNICA.....	55
LEGENDA 2 - LEGENDA DOS LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS.....	55
QUADRO 2 - RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA LIGAÇÃO IÔNICA ENCONTRADAS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	56
QUADRO 3 - RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA LIGAÇÃO COVALENTE ENCONTRADAS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	58
LEGENDA 3 -LEGENDA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA LIGAÇÃO COVALENTE.....	58
QUADRO 4 - RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA LIGAÇÃO METÁLICA ENCONTRADAS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	59
LEGENDA 4 -LEGENDA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA LIGAÇÃO METÁLICA.....	60
QUADRO 5 - RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA POLARIDADE E GEOMETRIA DAS MOLÉCULAS ENCONTRADAS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	61
LEGENDA 5 -LEGENDA DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS NA POLARIDADE E GEOMETRIA.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVA	9
3	OBJETIVOS	10
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
4.1	AS LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	11
4.2	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DOS ALUNOS.....	15
4.3	LIVRO DIDÁTICO.....	23
5	METODOLOGIA	25
5.1	LIVROS DIDÁTICOS.....	26
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
6.1	ANALISANDO OS LIVROS DIDÁTICOS.....	28
6.1.1	Livro didático L1	28
6.1.2	Livro didático L2	34
6.1.3	Livro didático L3	42
6.1.4	Livro didático L4	50
6.2	COMPARANDO OS LIVROS DIDÁTICOS.....	54
7	CONCLUSÃO	65
8	ETAPAS FUTURAS	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O livro didático tem sido objeto de estudo de diversas pesquisas pela sua importância no processo de ensino-aprendizagem, pois, dá suporte ao professor na prática pedagógica, na abordagem metodológica e na utilização de estratégias e nas decisões sobre a maneira como o conteúdo será ensinado, e também ao aluno, no estudo e na assimilação do conteúdo. Os alunos do ensino médio da escola pública recebem gratuitamente o livro didático que a escola em que estudam escolheu dentre as quatro opções indicados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), este, a cada quatro anos, seleciona e avalia por critérios definidos os livros didáticos que serão indicados.

Dentro da ciência da química, o assunto de ligações químicas é fundamental, já que entender como os átomos se ligam para formar moléculas é essencial para esses compostos existirem e novos produtos serem formados. Assim, é muito importante que os conceitos envolvidos nesse conteúdo sejam entendidos e aprendidos na sua totalidade pelos alunos (ATKINS, 2006). Mas, por se tratar de um conteúdo abstrato, que necessita de modelos para sua explicação e entendimento, envolvendo compreensão da química microscópica, faz surgir uma barreira que dificulta a compreensão do conhecimento científico e impede que a aprendizagem ocorra de forma eficaz (JOHNSON-LAIRD, 1983).

Dessa maneira, estudos realizados sobre esse processo de ensino-aprendizagem no conteúdo de ligações químicas mostram várias dificuldades que entram o aprendizado dos alunos, como a concepção alternativa, que surge quando o aluno apresenta explicações para os fenômenos diferentes daquelas que seriam aceitáveis cientificamente, podendo ocorrer por diversas razões, como pela maneira como é abordado e ensinado pelo professor e pelos livros didáticos (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006).

Portanto, é muito importante o professor diagnosticar quais as concepções alternativas que o aluno tem em um dado conteúdo antes de realizar a aula, pois assim ele as prevê e pode utilizar metodologias

diferenciadas, planejando suas ações pedagógicas para tentar evitar o aparecimento dessas concepções e assim superá-las.

Assim, este trabalho visa analisar se nos livros didáticos do ensino médio público, indicados pelo PNLD 2015, há fonte e indícios de elementos textuais, de abordagem e outros, que podem influenciar o aluno a ter uma concepção alternativa, no que se refere ao conteúdo de ligações químicas.

2 JUSTIFICATIVA

A química do ensino médio continua sendo uma matéria difícil para a maioria dos alunos, devido a sua complexidade e o nível de abstração exigido para entender as teorias criadas em nível microscópico. Por isso, acaba gerando muitas dificuldades de aprendizado, principalmente, se for ministrada uma aula tradicional pelo professor, e se for má utilizado os livros didáticos, podendo agravar essa situação.

Das dificuldades de aprendizado, surgem as concepções alternativas, que são um entrave para o processo de aprendizagem ser efetivado. Por isso, esta pesquisa tem sua importância na análise das concepções alternativas induzidas nos livros didáticos, para que se pense em novas estratégias pedagógicas para corrigi-los e melhorá-los. Será importante também para o professor, que, ao conhecer as concepções alternativas que os alunos apresentam sobre o conteúdo de ligações químicas e as induzidas pelo livro didático, poderá programar sua aula, a fim de evitá-las e substituí-las por conceitos cientificamente aceitos.

3 OBJETIVOS

Analisar as concepções alternativas presentes no conteúdo sobre ligações químicas de livros didáticos do ensino médio.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar a bibliografia sobre as concepções alternativas dos alunos de ensino médio referentes à ligações químicas.
- Utilizar a análise de Bardin na investigação dos livros didáticos de química do ensino médio do PNLD 2015.
- Avaliar e concluir se o aluno pode ser induzido a apresentar concepção alternativa no conteúdo de ligações químicas de livros didáticos.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 AS LIGAÇÕES QUÍMICAS

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) foram feitos para auxiliar as equipes escolares na execução de seus trabalhos, servindo de estímulo e apoio à reflexão sobre a prática diária, ao planejamento de aulas e, sobretudo, ao desenvolvimento do currículo da escola, contribuindo ainda para a atualização profissional. Sendo assim, são indicadas três competências e habilidades a serem desenvolvidas em química: (BRASIL, 2002)

- **Representação e comunicação**

Descrever as transformações químicas em linguagens discursivas; compreender os códigos e símbolos próprios da química atual; traduzir a linguagem discursiva em linguagem simbólica da química e vice-versa; utilizar a representação simbólica das transformações químicas e reconhecer suas modificações ao longo do tempo; traduzir a linguagem discursiva em outras linguagens usadas em química: gráficos, tabelas e relações matemáticas; identificar fontes de informação e formas de obter informações relevantes para o conhecimento da química (livro, computador, jornais, manuais etc.).

- **Investigação e compreensão**

Compreender e utilizar conceitos químicos dentro de uma visão microscópica; compreender os fatos químicos dentro de uma visão macroscópica; compreender dados quantitativos, estimativa e medidas; compreender relações proporcionais presentes na química; reconhecer tendências e relações a partir de dados experimentais ou outros (classificação, seriação e correspondência em química); selecionar e utilizar ideias e procedimentos científicos (leis, teorias, modelos) para a resolução de problemas qualitativos e quantitativos em química, identificando e acompanhando as variáveis relevantes; reconhecer ou propor a

investigação de um problema relacionado à química, selecionando procedimentos experimentais pertinentes; desenvolver conexões hipotético-lógicas que possibilitem previsões acerca das transformações químicas.

- **Contextualização sociocultural**

Reconhecer aspectos químicos relevantes na interação individual e coletiva do ser humano com o ambiente; reconhecer o papel da química no sistema produtivo, industrial e rural; reconhecer as relações entre o desenvolvimento científico e tecnológico da química e aspectos sócio-político-culturais; reconhecer os limites éticos e morais que podem estar envolvidos no desenvolvimento da química e da tecnologia.

No que se refere a ligações químicas, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais especificam habilidades, como: compreender as ligações químicas como resultantes de interações eletrostáticas entre átomos, moléculas ou íons, de forma que a sua associação dá às moléculas resultantes mais estabilidade; relacionar as propriedades macroscópicas das substâncias e as ligações químicas entre seus átomos, moléculas ou íons (BRASIL, 2002).

Tanto para o entendimento do conteúdo de ligações químicas pelo aluno, quanto para a explicação desse conteúdo pelo professor ou livro didático, é necessário o uso de modelos explicativos microscópios para a sua interpretação. Nesse caso, as Orientações Educacionais Complementares mostram que, para modelos explicativos e representativos, o aluno tem que ser capaz de: reconhecer modelos explicativos de diferentes épocas sobre a natureza dos materiais e suas transformações; elaborar e utilizar modelos macroscópicos e microscópicos para interpretar transformações químicas; reconhecer, nas limitações de um modelo explicativo, a necessidade de alterá-lo; elaborar e utilizar modelos científicos que modifiquem as explicações do senso comum (BRASIL, 2002).

Entende-se que o processo de ensino-aprendizagem se inicia, preponderantemente, a partir de fatos concretos observáveis e mensuráveis, uma vez que os conceitos que o aluno traz para a sala de aula advêm

principalmente da sua leitura do mundo macroscópico, dos fenômenos naturais. O processo continua através de interpretações baseadas em modelos microscópicos que exigem mais abstração dos alunos para o entendimento dos fenômenos. Dessa maneira, o verdadeiro entendimento e o domínio do conhecimento químico dependem da livre transição dos níveis macroscópico e microscópico. Então, o entendimento conceitual da química inclui a habilidade de entender a química que ocorre microscopicamente, através do uso de modelos, que é conectada com o mundo fenomenológico e comunicada pelo uso de símbolos (JOHNSON-LAIRD, 1983).

O assunto de ligações químicas é fundamental dentro da ciência da química, já que a existência de compostos é o ponto central dessa ciência. Além disso, ao ver como as ligações se formam, pode-se entender como é possível a formação de novos materiais. Ao fazer novos fármacos, novos produtos químicos para a agricultura e polímeros, que são utilizados para discos compactos, telefones celulares e fibras sintéticas, observa-se a importância de estudar e entender como os átomos se ligam para formar moléculas (ATKINS, 2006).

A ligação química é formada quando dois átomos se juntam, e esse arranjo resultante dos dois núcleos e seus elétrons tem menos energia do que a energia total dos átomos separados. Denomina-se ligação iônica quando o abaixamento de energia pode ser obtido pela transferência completa de um ou mais elétrons de um átomo para o outro, formando-se íons, e esse composto é mantido pela atração eletrostática entre os íons. Denomina-se ligação covalente quando o abaixamento de energia pode ser obtido pelo compartilhamento de elétrons, formando moléculas discretas. Denomina-se ligação metálica quando cátions, em grande número, são mantidos juntos por um número grande de elétrons (ATKINS, 2006).

Na formação das ligações, têm-se mudanças de energia que ocorrem quando os elétrons da valência, camada mais externa, dos átomos mudam de posição. Dessa maneira, para a explicação da formação das ligações químicas é necessário o conhecimento das estruturas eletrônicas, das configurações

eletrônicas dos átomos, do conhecimento de átomos e moléculas, da regra do octeto e da estrutura de Lewis (ATKINS, 2006).

Nas ligações iônicas, o que permite que ocorra o abaixamento de energia para que a ligação se forme é a forte atração coulômbica, eletrostática, entre os íons de cargas opostas. Quando dois íons se juntam para formar um sólido cristalino, a atração mútua libera uma grande quantidade de energia. Outra observação é que um sólido iônico não se mantém junto por ligações entre pares específicos de íons, mas sim todos os cátions do sólido interagem com aproximadamente todos os ânions, todos os cátions repelem-se uns aos outros e todos os ânions repelem-se uns aos outros. Dessa maneira, uma ligação iônica é característica do cristal como um todo. Nesse modelo iônico, de forma geral, os elementos metálicos podem perder seus elétrons de valência para formar cátions e os elementos não metálicos acomodam os elétrons em suas camadas de valência e se tornam ânions, assim essa descrição de ligação em termos de íons funciona para compostos binários entre elementos não metálicos e elementos metálicos (ATKINS, 2006).

Para a análise das propriedades dos sólidos iônicos, tem-se que um sólido iônico é um conjunto de cátions e ânions empacotados em um arranjo regular de modo a dar um arranjo com a menor energia possível, e um sólido cristalino é um sólido formado por átomos, moléculas ou íons empacotados em um padrão regular. A forte atração coulômbica entre íons de cargas opostas explica as propriedades típicas dos sólidos iônicos, isto é, seus altos pontos de fusão e sua fragilidade, pois é necessária uma temperatura muito alta para que os íons possam se afastar para formar o líquido. Da mesma forma, eles são quebradiços devido às atrações e repulsões fortes, pois como os sólidos iônicos são um arranjo ordenado de cátions e ânions, um golpe nesse sólido empurra os íons para posições em que os cátions se aproximam de outros cátions e os ânions, de outros ânions, ocorrendo uma forte força repulsiva, fazendo com que o sólido se quebre. Assim, as ligações iônicas não são direcionais, ou seja, um íon liga-se a todos os seus vizinhos por suas atrações eletrostáticas mútuas (ATKINS, 2006).

Como os não metais não formam cátions monoatômicos, Lewis encontrou uma explicação e propôs que uma ligação covalente é um par de elétrons compartilhados por dois átomos, isto é, os dois átomos ficam juntos porque ocorre uma interação eletrostática entre os dois elétrons que interagem com os dois núcleos, sendo que nenhum dos átomos perde totalmente um elétron. Assim, os elétrons são compartilhados até que os átomos completem a configuração de um duplete ou um octeto (ATKINS, 2006).

Ligação metálica é a ligação entre metais, em que os orbitais atômicos da camada de valência são sobrepostos. Os sólidos metálicos são sólidos cristalinos que têm um arranjo interno regular de átomos ou íons, formando um retículo cristalino de estrutura de empacotamento compacto, na qual as esferas empilham-se deixando o mínimo de espaço livre (ATKINS, 2006).

Na ligação entre átomos de um elemento metálico ocorre que os cátions de um metal mantêm-se em posição pela interação eletrostática com os elétrons livres, que envolvem toda a estrutura em uma banda de condução, interagindo em todas as posições. Assim, na ligação metálica, os elétrons não ficam sendo atraídos por um ou outro átomo, mas sim, todos os elétrons envolvem todos os cátions ocorrendo uma interação mútua. É essa mobilidade dos elétrons da valência e a estrutura compacta que faz com que os metais apresentem uma série de propriedades bem características, como, por exemplo, o brilho metálico, a condutividade elétrica, o alto ponto de fusão e ebulição, a maleabilidade, a ductilidade, a alta densidade e a resistência à tração (ATKINS, 2006).

4.2 CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DOS ALUNOS

Ligação química é um conteúdo abstrato que lida eminentemente com modelos. Primeiramente, a compreensão do comportamento das moléculas é necessária para compreender ligação química, sendo assim, o aluno tem de ser capaz de fazer a passagem da observação para a formulação de modelos (HARRISON; TREAGUST, 1996). Os modelos são uma parte essencial do conhecimento químico, pois sem eles a química fica reduzida a uma mera

descrição de propriedades macroscópicas e suas mudanças (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006).

A Química contemporânea não é mais uma ciência de memória, mas uma Química matemática, uma Química teórica, fundada a partir da união com a Física teórica. Desta forma estudar e aprender Química exige uma alta capacidade de abstração dos estudantes. Tal fato faz com que os professores, ao utilizarem uma linguagem de fácil compreensão, acabem utilizando analogias em muitas situações, que tornam os conceitos simplistas, resultando em barreiras que atrapalham o conhecimento científico e impedem que a aprendizagem ocorra (BACHELARD, 1991, p. 15).

Justamente por necessitar de modelos para sua compreensão, o assunto de ligações químicas, da maneira como é abordado tanto pelo professor quanto pelos livros didáticos, pode ser facilmente objeto de analogias errôneas e/ou concepções alternativas/espontâneas, como afirma Bachelard (1991, p.15).

A concepção alternativa surge quando o aluno apresenta explicações para os fenômenos diferentes daquelas que seriam aceitáveis cientificamente, mas fazem sentido e são úteis para aqueles que as possuem, na medida que são adequadas à realização e resolução das suas tarefas como cidadão comum. Podem ser classificadas em (ARROIO, 2006):

- **Concepções prévias:** existem antes de qualquer intervenção da escola, são explicações próprias que cada aluno tem acerca de um determinado assunto.
- **Concepções alternativas:** opõem-se às concepções do professor e teorias científicas reconhecidas.
- **Concepções intuitivas:** refletem a ideia de que as explicações da realidade que o aluno fornece emanam dele próprio com certo caráter de imaturidade.
- **Concepções erradas:** encaram as concepções dos alunos como falhas de um esquema conceptual explicativo, que é o aceite pela comunidade científica. Essa designação é, por vezes, cômoda para quem ensina e

constata a realidade de que, embora se tenha ensinado "bem", o aluno não dá uma explicação "certa".

São causas comuns dessas concepções as crenças populares e noções preconcebidas enraizadas nas experiências cotidianas, as visões aprendidas pelos estudantes de outras fontes que não a educação científica, como os ensinamentos religiosos ou míticos, o uso de palavras que apresentam um significado no cotidiano e outro no contexto científico, o uso de muitas generalizações resultando em muitos erros que não são discutidos e o uso de analogias (ARROIO, 2006).

Então, nas concepções alternativas ocorre um processo em que as ideias dos alunos interagem com as demonstrações do professor à linguagem científica, às leis e às teorias e com as suas experiências, tentando reconciliar suas ideias empíricas com os conceitos aceitos cientificamente. Quando essa reconciliação não promove aprendizagem, tem-se um obstáculo epistemológico, podendo constituir-se numa barreira à construção do conhecimento científico (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006).

Segundo Bachelard (2006), consistiu-se como obstáculo epistemológico a resistência ao pensamento científico por haver fontes primordiais contrárias baseadas em relações sensoriais e não racionais. Estas relações sensoriais são entraves do conhecimento subjetivo, por se tratar de um conhecimento subjetivo, relacionadas a aspectos intuitivos, imediatos, sensíveis, experienciais iniciais, relações imaginárias e opiniões e interesses de base afetiva. Sendo assim, são erros relacionados a base intimista do pensador, que acaba se tornando resistente a qualquer mudança de pensamento e conceito (CORACINI, 1991).

Assim, Bachelard dividiu os obstáculos epistemológicos que podem ocorrer no processo de ensino-aprendizagem em cinco categorias (STADLER et al., 2012):

- **Obstáculo da Experiência Primeira:** é o obstáculo ao conhecimento científico devido ao conhecimento prévio que o aluno já tem sobre o assunto e suas impressões.

- **Obstáculo Animista:** quando os alunos apresentam características relacionadas aos seres vivos para explicação dos conceitos químicos que não são relacionados aos seres vivos.
- **Obstáculo Realista:** acontece quando o aluno não faz a abstração necessária para o entendimento completo do assunto.
- **Obstáculo Substancialista:** ocorre quando o aluno substitui a explicação correta dos fenômenos pela sua explicação substancialista, não levando em conta outros fatores.
- **Obstáculo Verbal:** ocorre quando são utilizadas analogias, termos do senso comum e do cotidiano, a fim de facilitar a explicação dos fenômenos.

Os obstáculos epistemológicos são obstáculos pedagógicos, uma vez que entram a racionalidade do aluno e o professor não entende por quê o aluno não está aprendendo tal conceito científico. A concepção alternativa pode estar inserida no obstáculo epistemológico, como no da experiência primeira, ou o obstáculo epistemológico pode levar a concepção alternativa como no obstáculo verbal. Neste caso, o uso de analogias, por exemplo, pode levar o aluno a ter ideias prévias, que são usadas para explicar e interpretar aquele evento. Então, estas ideias prévias, que são as concepções alternativas, se manifestam na forma de erros conceituais, que são respostas seguras e contraditórias ao conhecimento científico (ANDRADE et al., 2002).

Livros didáticos que acabam omitindo explicações conceituais, evitam o surgimento de obstáculos epistemológicos, porém, induzem ao surgimento de concepções alternativas, já que o aluno pode formular qualquer ideia para a explicação daquele fato, por não ter tal explicação no livro didático (STADLER et al., 2012).

Tendo em vista os obstáculos epistemológicos apresentados por Bachelard, Fernandez e Marcondes (2006), em seus estudos sobre ligações químicas, puderam observar as principais concepções alternativas apresentadas pelos alunos e as dividiram em seis grupos: confusão entre ligação iônica e covalente, antropomorfismos, regra do octeto, geometria das

moléculas e polaridade, energia nas ligações químicas, representação das ligações.

Nesse primeiro grupo intitulado “Confusão entre ligação iônica e covalente”, no que se refere ao modelo de ligação iônica, os alunos a fundamentam como sendo influenciada por três pressupostos: valência, doação e forças. Na valência os alunos acreditam que a configuração eletrônica da última camada determina o número de ligações iônicas formadas. Na doação, os alunos pensam que as ligações são formadas apenas entre os átomos que doaram e aceitaram elétrons. E, por fim, no pressuposto das forças, os alunos consideram que os íons interagem com seus contraíons ao redor, mas acham que algumas não estão ionicamente ligadas, que essas interações são apenas forças, como no cloreto de sódio, o íon cloreto estaria ligado apenas a um íon sódio, e esse íon cloreto seria atraído pelos demais cinco íons de sódio, mas essa atração seria por forças e não por ligações (TABER, 1994).

Os alunos consideram os compostos iônicos e covalentes como moléculas, entidades discretas e unidirecionais, fazendo assim com que os compostos iônicos sejam regidos pelas mesmas regras que os covalentes e não os considerando como um retículo cristalino (BARKER; MILLAR, 2000).

No que se refere às ligações covalentes, os alunos acham que essa ligação é muito fraca, por ter o ponto de ebulição baixo, e que são rompidas quando uma substância muda de estado físico (BARKER; MILLAR, 2000). Da mesma maneira, acham que todos os átomos que estão ligados por ligações covalentes formam macromoléculas e não fazem distinção entre forças intramoleculares e forças intermoleculares (TAN; TREAGUST, 1999).

Em relação ao compartilhamento de elétrons, os alunos acham que esse acontece igualmente, não levando em conta o conceito de eletronegatividade e não tendo uma regra específica de como irá ocorrer esse compartilhamento (BIRK; KURTZ, 1999). Outros acham que na ligação covalente acontece o compartilhamento de um único elétron entre dois átomos (BOO, 1998). Outro obstáculo observado foi que na linguagem cotidiana os alunos consideram compartilhar sinônimo de possuir ou usar em conjunto, influenciando no modo errôneo de assimilar o conteúdo (PETERSON *et al.*, 1989).

No segundo grupo intitulado “Antropomorfismos”, para justificar e explicar uma ligação, os alunos utilizam aspectos antropomórficos, atribuindo

características ou aspectos humanos a outros elementos, como exemplo se tem: “a razão para os elétrons serem transferidos é a obtenção de uma camada completa” (TABER, 1998) “[...] o carbono quer fazer quatro ligações” (BARKER; MILLAR, 2000) e “átomos necessitam de camadas preenchidas” (TABER, 1998).

No terceiro grupo intitulado “Regra do octeto”, observou-se que os estudantes do ensino médio utilizam a regra do octeto como base para a formação das ligações e como sendo o único motivo para que as reações químicas ocorram. Pensamentos de que o compartilhamento de elétrons na ligação covalente é que faz os átomos estarem unidos e que a ligação iônica é a transferência de elétrons são comuns entre os alunos (TABER, 1998). Nesse caso, eles não consideram que a ligação iônica se dá pela atração dos íons, que são resultados da transferência de elétrons, mas que a única razão de os elétrons serem compartilhados é atingir última camada completa (BODNER, 1991). Dessa maneira, pesquisadores como Mortimer et al. (1994) puderam perceber que há um forte pensamento dos estudantes em considerar que a formação do octeto é a única razão da estabilidade das substâncias.

No quarto grupo intitulado “Geometria das moléculas e polaridade”, os alunos não visualizam a inter-relação entre a geometria e polaridade, assim, eles até consideram que alguma pode variar, mas não que a geometria influencia na polaridade e vice-versa (FURIÓ; CALATAYUD, 1996). Então, como na concepção dos estudantes geometria e polaridade são vistas como conhecimentos separados, a geometria da molécula é devida somente pela repulsão igualitária entre as ligações e pela repulsão entre os pares de elétrons ligantes (PETERSON *et al.*, 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989). Já sobre a polaridade da ligação, os estudantes acham que essa determina a geometria da molécula e que se deve ao compartilhamento igualitário de elétrons em todas as ligações covalentes, sendo a polaridade dependente do número de elétrons na camada de valência no átomo da ligação e determinada pela carga iônica (PETERSON *et al.*, 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989). Desse modo é possível perceber uma confusão feita pelos alunos entre os conceitos de arranjo dos pares eletrônicos e geometria molecular, não levando em conta o conceito de eletronegatividade, apresentando dificuldades na visualização tridimensional e nos requisitos para a sua formação (NICOLL, 2001).

No quinto grupo intitulado “Energia nas ligações químicas”, os alunos têm a concepção de que a energia é armazenada nas ligações químicas e que é isso que segura os átomos juntos, quando a ligação é rompida essa energia é liberada por processos químicos (HAPKIEWICZ, 1991) (TEICHERT; STACY, 2002). Isso se deve ao fato da associação com o cotidiano, de que é necessária energia para formar as coisas e que a energia é liberada quando ocorre uma quebra, extrapolando as observações feitas no nível macroscópico para o nível microscópico. Assim também ocorre a associação na biologia, de que os alimentos armazenam energia e quando passam pelos processos químicos dentro do corpo, liberam energia (BOO, 1998). Os estudantes acham que todas as reações são mais favoráveis em altas temperaturas, que todas as reações exotérmicas são espontâneas e que a reação ocorre porque um dos reagentes é mais reativo e que é ele que daria o impulso pra liberação de energia na quebra da ligação. Também, eles têm a percepção de que somente as ligações iônicas fracas podem ser rompidas em processos de dissolução (BOO, 1998), de que o calor faz as moléculas expandirem e isso é que romperia as ligações da água e que a quebra da ligação H-H e O-O libera energia (GRIFFITHS; PRESTON, 1992) (MULFORD; ROBINSON, 2002).

No sexto grupo intitulado “Representação das ligações”, os alunos têm uma ideia aditiva ao invés de interativa das substâncias, como no cloreto de sódio NaCl, como se fosse formado apenas por dois fragmentos isolados e que um único átomo de sódio reagisse com um único átomo de cloro, formando a formação do cloreto de sódio, não levando em consideração a estrutura cristalina do sólido formado. Os alunos acabam até preferindo textos e livros didáticos que façam referência a átomos e moléculas como estruturas discretas e concretas (BEN ZVI *et al.*, 1987).

Ainda, muitos alunos confundem átomos com células, achando que seus núcleos vão se dividir, e que o átomo irá crescer e se reproduzir. Têm a ideia de que as camadas eletrônicas encapsulam e protegem os átomos formando uma concha e que as nuvens eletrônicas formariam estruturas em que os átomos estariam embebidos ali (HARRISON; TREAGUST, 1996). Acham que os átomos não se movem em uma ligação e que os elétrons da ligação pi fariam uma órbita em formato de oito ou infinito, com o núcleo no centro, percebendo a confusão entre a diferença de camada eletrônica e orbital

molecular e as falhas na representação dos modelos microscópicos atômicos e moleculares (NICOLL, 2001).

A respeito das concepções alternativas dos estudantes de ensino médio sobre as ligações metálicas, estudos analisaram que os estudantes consideram que a ligação metálica não é uma ligação real, pois não envolve o compartilhamento de elétrons (BOO, 1998) e que o alumínio se liga a outro alumínio num metal compartilhando elétrons para obedecer à regra do octeto (COLL; TREAGUST, 2003), percebendo a clara confusão feita entre os conceitos de ligação metálica com os de ligação covalente e o fato de que somente consideram ligação química a situação em que há compartilhamento de elétrons. Ainda os estudantes consideram que os sólidos metálicos são de natureza molecular, que as ligações em metais envolvem forças intermoleculares e que as cargas positivas em compostos metálicos são núcleos e não íons (COLL; TAYLOR, 2001), revelando o conceito errôneo sobre o que é uma ligação metálica, que seria a interação eletrostática envolvendo cátions e elétrons.

Outras percepções sobre a ligação metálica também foram observadas, em que os alunos acham que os metais possuem altos pontos de fusão e ebulição porque possuem características iônicas, que na ligação metálica ocorre o compartilhamento de elétrons e é parecida com a ligação iônica e que em metais maleáveis as ligações são fracas (ACAR; TARHAN, 2008), de maneira que eles atribuíram equivocadamente às propriedades ponto de fusão e ponto de ebulição altos apenas a compostos iônicos.

O fato que contribui para essa confusão e concepção alternativa que os alunos apresentam é a abordagem de diferentes tipos de modelos. Então, tanto o livro didático quanto o professor adotam diferentes tipos de modelos, como círculos, bolas, núcleo e camadas, bolas separadas ou juntas, para explicar diferentes conteúdos. Porém, não é deixada clara essa diferença dos modelos para cada caso e o aluno acaba misturando tudo e se confundindo, já que ele tem a tendência natural de tratar os átomos e moléculas como se fossem substâncias (BLANCO; PRIETO, 1996). Assim, o professor, ao explicar o conteúdo, tem que decidir o momento ideal para fazê-lo, sabendo que as concepções prévias dos alunos não irão interferir para que eles compreendam e vejam pra que cada modelo é usado, em que caso e suas vantagens.

Portanto, é muito importante o professor diagnosticar quais são as concepções alternativas do aluno sobre determinado conteúdo antes de realizar a aula, pois assim ele pode prevê-las e utilizar metodologias diferenciadas, planejar suas ações pedagógicas para tentar evitar o aparecimento dessas concepções e assim superá-las.

4.3 LIVRO DIDÁTICO

O livro didático assume importância e responsabilidade no processo de ensino e aprendizagem por ter sua função direcionada para a aprendizagem escolar e para estabelecer uma ligação entre essa aprendizagem e o cotidiano e a vida profissional. Porém, o livro didático não tem a função apenas de transmissão de conhecimento e valores, mas permite o controle técnico do ensino, orientando o professor na prática pedagógica, nas estratégias a serem utilizadas e em todas as decisões que o professor deve tomar em relação ao conteúdo. Assim, os manuais escolares apresentam não só o conhecimento formal e conceitual das áreas de ensino como também valores formativos, como aspectos afetivos, éticos, sociais e intelectuais na formação de habilidades e competências (SANTOS, 2001).

Para os alunos do ensino público, o conteúdo do ensino médio de química é abordado de acordo com o livro didático escolhido pela escola, que deve ser um dos quatro livros didáticos indicados pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) daquele ano.

Nesse programa, o PNLD, todos os livros de ensino médio inscritos passam por uma avaliação pedagógica, que é dividida em seis blocos de avaliação, sendo: Projeto editorial; Observância da legislação brasileira; Abordagem teórico-metodológica e proposta didático-pedagógica; Correção e atualização de conceitos, informações e procedimentos; Manual do professor; Análise do conteúdo digital.

Também há critérios específicos para o componente curricular de química e os comuns à área de Ciências da Natureza, que se caracterizam como um conjunto de conhecimentos, práticas e habilidades voltados à

compreensão do mundo material nas suas diferentes dimensões (BRASIL, 2002).

O livro didático de química vincula conceitos, informações e procedimentos desse campo científico e alguns elementos de ensino que podem ser considerados como questões clássicas, como a experimentação, a história da ciência e a contextualização dos conteúdos. Especialmente para o professor, também apresenta formas possíveis de ensinar, abordagens metodológicas e concepções de ciência, educação e sociedade (BRASIL, 2002).

5 METODOLOGIA

Para a análise do conteúdo de ligações químicas nos livros didáticos, foi utilizada a metodologia de Bardin (2004), que engloba um conjunto de técnicas de análise, tendo como objetivo ir além da compreensão imediata e espontânea até uma observação mais atenta dos significados de um texto.

Como ponto de partida, a autora coloca três fases da metodologia da análise de conteúdo, organizada primeiramente em pré-análise, depois, exploração do material e, por fim, o tratamento e interpretação dos resultados.

Na pré-análise, foi escolhido o documento submetido à análise, formulando hipóteses para a elaboração dos indicadores para a interpretação final. Essa primeira etapa com os documentos é chamada de “leitura flutuante”, em que são elaboradas as hipóteses, afirmações iniciais que podem ser comprovadas ou refutadas ao final do estudo, e objetivos da pesquisa.

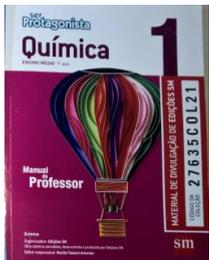
Na exploração do material, os dados obtidos na análise inicial são codificados. É enumerada a seleção de regras de contagem, no caso as concepções alternativas, e em que frequência aparece essa unidade de registro, então esses dados são categorizados, ou seja, classificados e agregados (SANTOS, 2012).

Para o tratamento dos resultados, é utilizada a técnica de inferência, orientada por polos de comunicação em que se descobrem novos temas e dados. Na fase de interpretação dos dados, retorna-se ao referencial teórico, procurando embasar as análises, dando sentido à interpretação, uma vez que as interpretações pautadas em inferências buscam o que se esconde por trás dos significados das palavras para apresentarem, em profundidade, o discurso dos enunciados.

Dessa maneira, os livros didáticos foram analisados por uma técnica que visa à profundidade da análise do conteúdo, mostrando os significados profundos e identificando em categorias as semelhanças do objeto em estudo.

5.1 LIVROS DIDÁTICOS

Os livros didáticos analisados neste trabalho foram aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2015, são distribuídos gratuitamente nas escolas de ensino médio e estão listados no QUADRO 1.

Livro	Autor	Editora	Ano
L1: Química 	Martha Reis	Ática 1. ^a edição	2013
L2: Química 	Eduardo Mortimer e Andréa Machado	Scipione 2. ^a edição	2013
L3: Química Cidadã 	Wildson Pereira dos Santos	AJS 2. ^a edição	2013
L4: Ser protagonista 	Murilo Antunes	SM 2. ^a edição	2013

QUADRO 1 - LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS DO PNLD – 2015

FONTE: O autor (2015)

Foram analisados os capítulos de cada livro que abordam o conteúdo de ligações químicas, especificamente as ligações iônicas, ligações covalentes e ligações metálicas, focando este estudo nos elementos contidos nesses livros didáticos que podem influenciar ou até mesmo levar o aluno a ter uma concepção alternativa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada a análise no conteúdo de ligações químicas, sobre um olhar das concepções alternativas, observando os pontos em que o livro pode induzir o aluno a ter uma concepção alternativa.

Nesta análise do livro didático não foram incluídos os textos contextuais e interdisciplinares dos capítulos, os exercícios, experiências e nem os tópicos de fórmula e nomenclatura. Como a maioria das concepções alternativas surge no conceito do modelo das ligações químicas, que fica na explicação dos conceitos de ligação iônica, covalente e metálicas nos livros, a seguinte análise se deteve mais minuciosamente aos conceitos destas ligações.

6.1 ANALISANDO OS LIVROS DIDÁTICOS

6.1.1 Livro didático L1

No livro didático L1 não há um tópico específico para ligações químicas. Ele está dividido em capítulos distintos, sendo que primeiramente é abordada a ligação covalente no capítulo 14, depois, ligação iônica no capítulo 17 e, enfim, ligação metálica no capítulo 19. Entende-se que essa separação possa facilitar o aparecimento de concepções alternativas, já que o aluno pode não se lembrar dos conceitos referentes aos outros modelos e acabar misturando todos eles, sem falar da quebra de raciocínio do assunto, promovendo a fragmentação do conteúdo (BLANCO; PRIETO, 1996).

Começando o capítulo de ligações covalentes, é mostrado como os átomos se unem, por meio de ligações químicas, para formar moléculas mais estáveis, pela regra do octeto. A autora alerta que a regra do octeto é apenas uma ferramenta para encontrar teoricamente a fórmula dos compostos mais comuns formados por elementos representativos, não todos, mas que essa regra não explica os fenômenos das ligações químicas e não é seguida pela maioria dos elementos da tabela periódica.

Caracterizando ligação covalente, é explicado que ela ocorre quando dois átomos com alta eletronegatividade compartilham pares de elétrons de valência, formando moléculas ou macromoléculas. Aqui é retomado o conceito de molécula e macromolécula, evitando concepções básicas, como quando os alunos não compreendem ligações químicas por não terem bem definido e não entenderem o que são átomos, moléculas e macromoléculas (JOHNSON-LAIRD, 1983).

Em seguida, é explicado como e por que a ligação covalente se forma, mostrando as forças de atração e repulsão de dois átomos: “se os átomos se aproximam, as forças de atração do núcleo pelo elétron vão aumentando, e a energia potencial entre os átomos diminuindo, até que se chega a uma distância em que a energia potencial é mínima e as forças de atração e repulsão se compensam, que é o momento em que a ligação química se estabelece”. Para isso, foi utilizado o gráfico de energia potencial versus distância entre os núcleos dos átomos, ilustração das forças envolvidas e reações para mostrar a energia de ligação. Então, para a ligação covalente se formar e tornar-se efetiva e estável, a distância entre os dois átomos é tal que as forças de atração existentes são totalmente compensadas pelas forças de repulsão. Assim, os núcleos atraem com a mesma intensidade os elétrons, e essa atração que faz com que os átomos permaneçam juntos é denominada ligação covalente.

Aqui a autora poderia fazer uma diferenciação, para os alunos entenderem bem os diferentes tipos de modelo e não acharem que a ligação covalente, como citado acima, é apenas uma força, uma atração, dando brecha para concepções alternativas e, principalmente, confusões com a ligação iônica. Da mesma maneira, poderia fazer a conexão desse conhecimento com o compartilhamento de elétrons, pois em uma parte separada do livro menciona que a ligação covalente é o compartilhamento e aqui, que é uma atração, desconectando os dois, podendo ainda confundir com forças intramoleculares, intermoleculares e ligações químicas (TAN; TREAGUST, 1999).

São dados os conceitos de ligação simples, dupla, tripla, casos especiais como a formação do cátion hidrônio, a molécula de gás ozônio, cálculo da

carga formal, todos baseados no modelo da regra do octeto, abordando a configuração eletrônica, a fórmula molecular, a fórmula eletrônica e a fórmula estrutural. Ainda, é explicada a expansão e contração da regra do octeto e, então, o assunto de ligação covalente é terminado para dar início à polaridade da ligação. Até aqui, apesar de ter sido citado que é apenas um modelo, foi bem enfatizada a regra do octeto para a explicação da ligação covalente, podendo influenciar o aluno a achar que esse é o único modelo que explica como esses átomos se unem, achando que quem não tem o octeto completo não é estável e não forma ligações covalentes (MORTIMER et al., 1994). Da mesma forma, até aqui, o aluno também acha que esse compartilhamento ocorre de maneira igual na molécula (BIRK; KURTZ, 1999).

Então, no tópico polaridade de ligação covalente, é possível o aluno entender que esse compartilhamento de elétrons não ocorre de maneira igual, exceto para a ligação covalente apolar. Na ligação covalente polar, o átomo mais eletronegativo exerce atração sobre os pares de elétrons compartilhados, adquirindo um carácter parcial negativo. A autora, para isso, coloca os conceitos de eletronegatividade, carácter parcial, faz a diferença entre carácter parcial e carga elétrica e explica também que em uma mesma molécula pode-se ter ligações polares e apolares. Se atendo a esses detalhes, e diferenciando-os, a autora evita que os alunos tenham várias concepções, principalmente em achar que o carácter parcial é a carga iônica, ou que a molécula inteira só tem um determinado tipo de ligação. A carga parcial ou carácter parcial é proveniente de pequenas variações da distribuição de elétrons, podendo ser positiva (δ^+) ou negativa (δ^-) (ATKINS, 2006) (PETERSON *et al.*, 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989).

Ainda, é colocado que aumentando a diferença de eletronegatividade entre dois átomos, o carácter da ligação passa progressivamente de 100% covalente apolar para covalente polar, até chegar a acentuadamente iônico, ou seja, em que o composto é formado pelos íons. Assim o aluno consegue visualizar como a diferença de eletronegatividade vai determinar quando a ligação irá ser predominantemente covalente e iônica, não colocando todo o conceito apenas em compartilhamento ou transferência de elétrons. Também, como se dá pela eletronegatividade, evita concepções de que a polaridade se

deve ao compartilhamento igualitário de elétrons em todas as ligações covalentes, sendo a polaridade dependente do número de elétrons na camada de valência no átomo da ligação e determinada pela carga iônica (PETERSON *et al.*, 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989).

Da mesma forma, a autora aborda o conceito da ligação “dativa”, mas não cita como sendo essa denominação. Apenas é colocado que o par de elétrons compartilhado na ligação covalente estabelecida entre dois átomos é proveniente de um único átomo, e que na prática não há nenhuma diferença entre as ligações covalentes por causa desse fato, evitando também a concepção de que a ligação “dativa” é regida por outros modelos de ligação química, não sendo uma ligação covalente.

No tópico de geometria molecular, a autora enfatiza que o fato de uma molécula apresentar ligações covalentes polares não significa que ela será polar, pois essa característica depende também da geometria dessa molécula, ou seja, da forma como seus átomos se organizam no espaço. No tópico seguinte, em que aborda a polaridade da molécula e vetor momento dipolar, é enfatizado novamente que há duas características que podem definir se uma molécula é ou não polar: a diferença de eletronegatividade entre os átomos ligados e a sua geometria. Dessa maneira, é evitada a concepção de que geometria não influencia na polaridade e vice-versa, tratando-se de conhecimentos separados (FURIÓ; CALATAYUD, 1996).

Na ligação iônica, primeiramente é colocado que se a diferença de eletronegatividade for maior do que 1,6, a ligação entre dois átomos de elementos químicos distintos é predominantemente iônica, ou seja, obtida pela formação de íons positivos e negativos que permanecem juntos por atração eletrostática. Então, a ligação iônica é sempre uma ligação polar e que a intensidade do dipolo formado entre os átomos aumenta com o aumento da diferença de eletronegatividade. Para a explicação da formação da ligação iônica que é feita em seguida, a autora aborda energia de ionização para explicar a tendência dos átomos de formarem ânions ou cátions, quando que essa tendência ocorre e se é estável ou não, colocando as reações envolvidas e valores de energia de ionização. Com todos esses tópicos abordados, só

então é colocado que os íons permanecem fortemente ligados uns aos outros por força de atração elétrica entre cargas opostas, formando um composto.

Com isso a autora explica ligação iônica da forma mais completa, abordando todos os conceitos envolvidos, não deixando assim espaço para a maioria das concepções alternativas da ligação iônica relacionadas a regra do octeto e, principalmente, concepções envolvendo eletronegatividade, já que muitos alunos nem levam esse conceito em conta para a explicação dessa ligação (BIRK; KURTZ, 1999). Porém, ao concluir o raciocínio dizendo que esses íons permanecem fortemente ligados por força de atração elétrica entre cargas opostas, pode-se deixar espaço para a concepção de que os íons não estão ionicamente ligados, pois essas interações são apenas forças (TABER, 1994). Mas ao mesmo tempo evita a concepção de que a ligação iônica é simplesmente a transferência de elétrons.

Outro ponto positivo é que desde o começo foi abordado que existe uma predominância em ser um composto iônico. Dessa maneira a autora explica em seguida como o aluno pode saber se a ligação estabelecida entre dois átomos de elementos químicos diferentes será covalente ou iônica. Fazendo-o pelo cálculo da diferença de eletronegatividade entre os átomos desses elementos, mostrando uma tabela de porcentagem de caráter iônico. Nesta tabela, quanto maior essa porcentagem de caráter iônico, o composto será predominantemente iônico e quanto menor essa porcentagem o composto será predominantemente covalente. Assim, desde o começo, a autora evita que o aluno tenha a concepção de que todos os átomos de metais e não metais se ligam igualmente em uma ligação iônica e que não têm influência nenhuma da ligação covalente, vendo tudo de modo separado. Ainda, é explicado, através da energia de ionização, por que alguns elementos têm tendência para formar cátions monovalentes enquanto outros formam cátions bivalentes e trivalentes.

Nessa primeira etapa, a autora coloca um modelo de explicação para a formação da ligação iônica apenas se baseando na eletronegatividade, não mencionando retículo cristalino ou transferência de elétrons. Então, é usado outro modelo, o da regra do octeto para também prever como se estabelece

uma ligação iônica, lembrando o leitor que essa regra só se aplica a alguns elementos representativos, pois nem sempre todos seguem a regra do octeto.

No modelo da regra do octeto, a autora comenta que há reação entre as substâncias para formar um sólido e, através da distribuição eletrônica, mostra a tendência de formar cátions ou ânions, dependendo dos elétrons da camada de valência, se o último nível ficar completo e assim atingir a configuração eletrônica de gás nobre. E só com isso é explicada toda a ligação iônica pelo modelo da regra do octeto, podendo dar concepções de que as ligações são formadas apenas entre átomos que doaram e aceitaram elétrons, pois, apesar de não ter sido citado que ocorre transferência de elétrons em nenhum momento no capítulo, o que evita várias concepções, o aluno não sabe como isso ocorre em nível de retículo cristalino, que essa interação ocorre em todos os sentidos entre os cátions e ânions, podendo considerar que a ligação iônica ocorre apenas entre dois átomos (TABER, 1994).

Não é explicado como esses íons se dissociam em água para a condução de eletricidade e como isso influencia no retículo cristalino, podendo o aluno ter a concepção de que as ligações iônicas são fracas, pois são rompidas em processos de dissolução (BOO, 1998).

Somente no final do capítulo, abordando o tópico de fórmula unitária, é citada a maneira como os compostos iônicos são organizados, em um arranjo. Apesar das fotos do retículo e de ter citado a sua organização, não é explicado o modo como acontece a ligação iônica na estrutura cristalina, podendo fazer com que os alunos não levem em consideração a rede cristalina e visualizem separadamente os íons na ligação e como estão organizados, não considerando a interação de todos esses íons. Apenas na legenda da foto do retículo cristalino é observado, a única vez em todo o capítulo de ligações iônicas, que o sólido iônico não se mantém coeso por ligações de pares específicos de íons, mas que todos os cátions atraem todos os ânions mutuamente. Tendo em vista de como a estrutura do retículo cristalino é importante para a explicação da ligação iônica, esse assunto deixou a desejar, podendo gerar muitas concepções (BARKER; MILLAR, 2000).

Para a definição de ligações metálicas, a autora usa o conceito de eletropositividade, reforçando que se trata de um modelo de ligação química de natureza elétrica com base na atração entre íons positivos, cátions do metal, e elétrons semilivres. É colocado que ocorre a liberação parcial dos elétrons mais externos, formando cátions, de modo que os elétrons podem se mover dentro da estrutura metálica. É abordado o arranjo geométrico de estrutura cristalina para o modelo de ligação metálica, mas apenas é citado o arranjo espacial. Com isso o aluno tem a noção de como é a ligação metálica, mas não sabe como e por que esses elétrons saem das suas camadas e permeiam livremente pelo material. Da mesma forma, não sabem que é uma atração feita em todas as direções dos cátions com os elétrons, dando assim possibilidades para que ocorram concepções espontâneas de como essa ligação é feita, se há ou não compartilhamento de elétrons, se é só uma atração, podendo até confundir com interação intermolecular ou com os outros modelos.

O capítulo de ligações metálicas é muito curto, sendo que em apenas uma página é explicado todo o conceito de ligação metálica e nas outras são abordadas as propriedades dos metais, ligas metálicas e corrosão.

6.1.2 Livro didático L2

No livro didático L2, são abordados os assuntos de ligações químicas, interações intermoleculares e propriedades dos materiais, todos no mesmo capítulo, mesclados. Para introduzir, o autor propõe um projeto de pesquisa para os alunos realizarem e, a partir disso, utiliza três perguntas pra saber que evidências sobre a natureza das ligações químicas podem ser obtidas conhecendo-se a temperatura de fusão, a solubilidade e a condutividade elétrica dos materiais.

Explicando sobre como a temperatura de fusão evidencia a natureza das ligações químicas, o autor explica que as ligações químicas são modelos usados para explicar as propriedades das substâncias. Sendo um ponto positivo pois evita concepções em que o aluno não considera as ligações químicas como um modelo teórico para explicar as propriedades macroscópicas, e sim, que todos os conceitos envolvidos neste conteúdo foram

observados microscopicamente (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006). Por exemplo, o aluno achar que foram observados microscopicamente os compostos que compartilham elétrons, se confirmada a presença do compartilhamento, então, este composto foi classificado como covalente.

Outro ponto positivo é a distinção feita entre ligação covalente, que é a interação entre os átomos responsáveis pela formação da molécula, e interação intermolecular, que é a interação entre moléculas para formar o material. Com isso o autor evita a concepção de que todos os átomos ligados por ligações covalentes formam macromoléculas e a confusão que é feita com forças intramoleculares e forças intermoleculares, já que os alunos não fazem distinção entre essas (TAN; TREAGUST, 1999).

Então, o autor explica que, como as interações intermoleculares, entre as moléculas, são fracas, as substâncias moleculares geralmente têm temperatura de fusão e ebulição baixas, para certo grupo de substâncias. Dessa maneira, é evitada a concepção de que a ligação covalente é muito fraca por ter o ponto de ebulição baixo. De certa maneira, também é evitada a concepção de que as ligações covalentes são rompidas quando uma substância muda de estado físico (BARKER; MILLAR, 2000). Porém, o autor poderia ter frisado que apenas as forças intermoleculares são rompidas, nesse caso específico, na mudança de estado físico e não nas ligações covalentes, evitando possíveis confusões até com as outras substâncias que têm ligação covalente.

Já no caso do diamante, é colocado que não há formação de moléculas individuais e sim a agregação das partículas, que se dá apenas pela ligação covalente entre os átomos de carbono, sendo essa ligação muito forte, o que explica a alta temperatura de fusão e ebulição. Dessa maneira, o aluno consegue diferenciar que nem todas as substâncias que possuem ligações covalentes têm alto ou baixo ponto de ebulição, mas que dependem da forma de agregação e se há interações intermoleculares.

Na sequência, o autor coloca as ligações metálicas e iônicas, fazendo a relação da forma de agregação, se formam ou não moléculas, o tipo de interação, e se é uma interação forte ou fraca. Lembrando que essa é apenas a

parte introdutória do capítulo, não abordando ainda diretamente cada tipo de ligação, mas que já são explicadas algumas particularidades, evitando muitas concepções alternativas já citadas.

Na solubilidade, é explicado que sólidos covalentes têm apenas ligações covalentes, sendo essas muito fortes, não ocorrendo a interação entre soluto-solvente, já que, para ocorrer a dissolução, teria que haver a quebra da ligação por meio da interação do solvente, o que demanda uma energia muito alta. Mas o autor explica que a temperatura de fusão do cloreto de sódio, unido por ligação iônica, também é elevada. No entanto, ele é solúvel em água. Isso se deve ao fato de a dissolução ser favorecida pela interação dos íons sódio e cloreto com as moléculas de água, sendo que as interações das partículas do soluto e do solvente levam à quebra da ligação entre as partículas do cloreto de sódio. Explica também que, no caso da naftalina, a temperatura de fusão é baixa, no entanto, não é solúvel em água, mas em compostos orgânicos. Assim, o autor evita a concepção de que somente as ligações iônicas fracas podem ser rompidas em processo de dissolução (BOO, 1998).

Na condutividade elétrica dos materiais, é utilizada a presença de cargas que podem se movimentar no material para tal explicação, abordando ligações iônicas e metálicas. É colocado que em solução aquosa os íons conduzem eletricidade pela sua mobilidade, mas que não há mobilidade dos íons no caso de um cristal, pois estão fixos em posições definidas num retículo cristalino. Explica que o retículo cristalino é um arranjo tridimensional no qual os átomos, íons ou moléculas estão organizados no cristal e o que mantém os íons fixos na estrutura do cristal é a força atrativa, a ligação iônica. Aqui o autor evita a concepção de que as ligações iônicas são regidas pelas mesmas regras que a covalente, não considerando o retículo cristalino e também que os átomos não se movem em uma ligação (BARKER; MILLAR, 2000) (NICOLL, 2001).

A partir dessa introdução, começa o primeiro tópico abordando ligações covalentes. Aqui o autor comenta que a teoria das ligações químicas pode responder a questões de como os átomos estão unidos, por que persistem os agrupamentos de átomos e por que cada tipo de agrupamento apresenta propriedades características. É colocado, de modo geral, que as substâncias

são formadas por agrupamentos de átomos e que cada agrupamento diferente resulta em propriedades distintas. Então, é explicado todo o diagrama de energia versus distância internuclear para a formação da molécula de hidrogênio. Diz que na natureza as substâncias se formam porque os átomos tendem a um estado energético mais estável, de menor energia e que, quando há equilíbrio entre as forças de atração e de repulsão, os elétrons de cada um dos átomos são atraídos igualmente pelos dois núcleos, e assim há formação da ligação química.

Nesse caso é a ligação covalente, mas o autor coloca que é possível generalizar o fato de que toda a ligação química se forma pela diminuição da energia do sistema. Assim, são evitadas as concepções de que os átomos se ligam apenas para atingir a regra do octeto, ou que só dessa maneira se atinge a estabilidade, e que a razão dos átomos estarem unidos é o compartilhamento de elétrons, e não o estado de estabilidade e de menor energia (TABER, 1998) (MORTIMER et al., 1994).

Assim, é colocado que, para romper uma ligação química, deve-se fornecer energia ao sistema, enquanto que sua formação libera energia, evitando a concepção, geralmente apresentada pelos alunos, de que a energia é armazenada nas ligações químicas, de forma que isso segura os átomos juntos, e que quando essa ligação é rompida a energia é liberada (HAPKIEWICZ, 1991) (TEICHERT; STACY, 2002).

Apenas é citado que na ligação covalente ocorre compartilhamento de elétrons. No próximo tópico é abordada a polaridade das ligações, em que é explicado de maneira breve que as ligações polares e apolares se formam por causa da diferença de eletronegatividade, influenciando na distribuição de cargas na nuvem eletrônica, no caso da ligação covalente polar, adquirindo carga parcial positiva e carga parcial negativa. Da mesma forma, é apenas citado o caráter polar da ligação covalente. Evita concepções de que o compartilhamento de elétrons acontece igualmente, em que os alunos não levam em conta o conceito de eletronegatividade. Evita também concepções de que a polaridade depende do número de elétrons na camada de valência

(BIRK; KURTZ, 1999) (PETERSON *et al.*, 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989).

O fato de o autor não utilizar os modelos da regra do octeto ou da valência para explicar tanto ligações covalentes quanto ligações iônicas beneficia em alguns pontos e prejudica em outros. Primeiro, evita todas as concepções alternativas relacionadas a esses dois modelos, o que é um ponto bastante positivo já que a maioria dos alunos só consegue visualizar que os átomos se unem, compartilham elétrons para atingir a última camada completa e, assim, seguir a regra do octeto, sendo também a única razão da estabilidade, ou não considerarem como ligação aquelas em que não há compartilhamento de elétrons (TABER, 1998). Enquanto que nas ligações iônicas, não favorece as concepções: i) que a valência da última camada é que vai determinar o número de ligações iônicas formadas; ii) que as ligações iônicas são formadas apenas entre os átomos que doaram e aceitaram elétrons; e iii) que a ligação iônica é a transferência de elétrons. Entretanto, um ponto que pode prejudicar é o fato de não explicar de que maneira esse compartilhamento de elétrons ocorre, já que apenas o cita sem maiores detalhes (BIRK; KURTZ, 1999) (TABER, 1994).

Em todo o capítulo, para o modelo de ligação covalente polar e apolar, foram utilizadas apenas figuras representadas em nuvens eletrônicas e não por orbitais, o que evita que os alunos achem que está se tratando apenas de um elétron na camada eletrônica que circula ao redor do núcleo, mas sim de uma densidade de elétrons, um conjunto. Como esse capítulo não aborda geometria molecular, pode fazer com que os alunos venham a achar que a geometria não influencia na polaridade e vice-versa, tratando-os como conhecimentos separados (FURIÓ; CALATAYUD, 1996).

Ao abordar interações intermoleculares nesse mesmo capítulo, o autor evita uma grande confusão que é feita entre ligação química e interações intermoleculares (TAN; TREAGUST, 1999). Deixa clara a distinção entre esses dois, principalmente, no que se refere a ligações covalentes. Após a explicação da polaridade das ligações, o autor faz a distinção entre substâncias moleculares e sólidos covalentes, em que, apesar de ambos serem

constituídos por ligações covalentes, não é o modelo de ligação covalente que explica suas propriedades físicas, pois nas substâncias moleculares as ligações covalentes são responsáveis pela formação da molécula. Já as interações moleculares são responsáveis pela agregação dessas partículas em conjuntos macroscópicos, apresentando assim baixos pontos de fusão e ebulição, pois em processos físicos essas interações é que são quebradas e não as ligações covalentes.

Já os sólidos covalentes são formados apenas por ligações covalentes em que os átomos se encontram fortemente ligados entre si, tendo alto ponto de fusão e ebulição, não tendo aqui interações intermoleculares. Para isso o autor aborda conceitos de retículo cristalino, plano dos átomos no retículo, direção e deslizamento do plano.

Para explicar ligação iônica, o autor diferencia que, como os átomos têm eletronegatividades diferentes, poderiam ser classificados como ligação covalente polar, mas nesse caso há uma situação extrema, já que a diferença de eletronegatividade entre os átomos é tão grande. Pode-se considerar que os elétrons da ligação se aproximam tanto do átomo mais eletronegativo que passam a fazer, praticamente, parte dele, formando íons. E que por terem cargas opostas, existe uma atração eletrostática, sendo essa interação chamada de ligação iônica. Assim, são evitadas concepções em que os alunos acham que a ligação iônica é a transferência de elétrons, como também não favorece todas aquelas CA (concepções alternativas) já citadas anteriormente, relacionadas com os modelos da regra do octeto e de valência. Ao mesmo tempo, evita confusões entre ligação covalente e iônica, já que as diferencia e explica tudo em função da eletronegatividade.

Por consequência, explica também que os átomos interagem com outros ao seu redor para formar o retículo cristalino e que não existe uma fronteira rígida que permita dizer quando uma ligação é iônica ou covalente polar, sendo correto falar em termos de porcentagem de caráter iônico. Dessa maneira, evita as concepções de que a ligação iônica ocorre apenas entre dois átomos e não com todos ao seu redor e que não consideram o retículo cristalino na sua formação (BARKER; MILLAR, 2000) (TABER, 1994).

Ao explicar as propriedades dos compostos iônicos, o autor, da mesma forma, explica outras características associadas ao modelo de um arranjo tridimensional de partículas carregadas, como a energia para deslocar os íons na sua posição do retículo, a mobilidade que os íons adquirem em solução ou no estado líquido, a força de ligação iônica, solvatação dos íons. Contribuindo, assim, para melhor aprendizagem do conteúdo.

Nas ligações metálicas, é feita a distinção de dois tipos de materiais metálicos que podem ser encontrados, formados pelo mesmo elemento químico e formados por mais de um elemento, que nesse caso recebem o nome de liga metálica. E, então, o autor evita a concepção de que na ligação metálica ocorre o mesmo compartilhamento de elétrons que na ligação covalente, ao diferenciar esses dois e explicar que nos metais os átomos não são unidos aos pares, mas pela atração mútua entre um grande número de núcleos e um grande número de elétrons (COLL; TREAGUST, 2003).

Porém, na explicação da definição de ligação metálica, o autor utiliza a palavra “núcleo positivo” várias vezes, ao mesmo tempo em que utiliza a palavra “íons positivos”. Dessa maneira, fica bem confuso durante o texto saber se há atração pelo núcleo positivo ou pelo íon positivo, principalmente, com a ilustração do modelo para a ligação metálica, na FIGURA 1. Pois, se o aluno ficou nesta dúvida, se é atração pelo núcleo positivo ou pelo íon positivo, ao olhar a FIGURA 1, a dúvida permanecerá, já que não tem como deduzir quais das duas está ilustrado (COLL; TAYLOR, 2001).

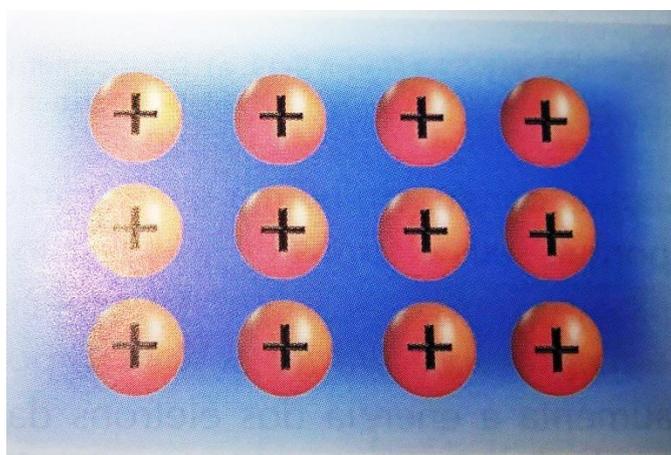


FIGURA 1- Modelo para a ligação metálica

Fonte: MORTIMER e MACHADO (2013, p.237)

O autor coloca que, para qualquer lugar que o elétron se mova, encontra-se sempre entre dois núcleos positivos e que, para a ligação metálica. Foi proposto um modelo de íons positivos distribuídos na rede cristalina, imersos num “gás” de elétrons, que não se encontram firmemente ligados a nenhum núcleo. Dessa forma, o aluno pode ter uma concepção alternativa, na qual as cargas positivas em compostos metálicos são núcleos e não íons (COLL; TAYLOR, 2001).

É citado que os metais são formados por arranjo cristalino compacto e que, ao contrário da ligação covalente, os elétrons da valência num metal estão dispersos quase uniformemente por meio do cristal, de modo que a ligação metálica não exerce a mesma influência direcional da ligação covalente.

Não são abordados conceitos de eletropositividade ou eletronegatividade para a explicação da ligação metálica e, ao fazer comparação com o compartilhamento de elétrons com a ligação covalente, o autor comenta que o lítio, por exemplo, possui apenas um elétron na camada de valência e por isso não é possível ele formar ligações covalentes por meio de pares eletrônicos com os oito átomos vizinhos. Aqui, pode-se ter uma concepção de que os metais também estão tentando formar ligações para completar a camada de valência e obedecer à regra do octeto (COLL; TREAGUST, 2003).

Por meio das propriedades das substâncias metálicas, o autor as explica aliadas aos conceitos do modelo proposto de ligação metálica. Aqui, é evitada a concepção de que, em metais maleáveis, as ligações são fracas, pois são utilizados os conceitos de intensidade na direção da ligação e plano de átomos se deslizando sobre outro sem que destrua a estrutura cristalina. De forma que, apesar disso, os elétrons ainda mantêm as ligações entre os planos (ACAR; TARHAN, 2008).

Não é colocada qualquer diferença entre a ligação iônica e metálica e como esses modelos abordam o retículo cristalino e a atração eletrostática para a sua explicação. De forma que pode levar o aluno pode confundir os dois modelos (BLANCO; PRIETO, 1996).

6.1.3 Livro didático L3

No livro didático L3, no capítulo referente a ligações químicas, o autor faz uma abordagem histórica em todo o assunto introduzido, localizando o estudante dentro do conteúdo, sendo um ponto positivo para evitar o surgimento de concepções alternativas, desde que apresenta o assunto não como pronto e acabado, mas que teve todo um processo histórico e científico para se chegar às definições.

Iniciando com o conteúdo de ligações químicas, o autor começa indagando “Por que os átomos se combinam?” e, através de várias perguntas que de modo geral estão distribuídas em todo o capítulo, o autor primeiro constrói um raciocínio, para, ao concluí-lo, explicar o conceito das ligações. Logo na primeira frase, para responder a essa pergunta, é colocado que diversos modelos têm sido desenvolvidos para esclarecer como os átomos se unem e se mantêm estáveis e, durante todo o capítulo, o autor frisa que se trata de modelos para essa explicação, os quais têm suas limitações.

Após um breve histórico de como os átomos se unem para formar as substâncias, é sugerida uma experiência demonstrativa, a condutividade elétrica da água quando adicionados diferentes compostos. Assim, com os resultados observados na prática, dividem-se os materiais investigados em três grupos, denominados X, Y e Z, cada um com suas propriedades observadas na experiência. O autor só revela que o grupo X trata das substâncias iônicas, grupo Y, das substâncias covalentes, e o grupo Z, das substâncias metálicas, ao decorrer do capítulo, na medida que introduz esses conteúdos, mantendo a base lógica da construção do pensamento.

O autor primeiramente explica o conceito de íons, substâncias iônicas, cátions e ânions. Na sequência, apenas cita que as forças eletrostáticas existentes nas substâncias iônicas fazem com que os íons sejam arranjados, de forma organizada, em um retículo cristalino. Isso é tudo o que é explicado nesse tópico de ligações iônicas sobre retículo cristalino. Nem ao menos, quando foi explicado o conceito de ligação iônica, feito somente duas páginas depois, foi citado o termo retículo cristalino. Então, o aluno, além de não fazer nenhuma relação desse termo com a ligação iônica, não vai formar a estrutura tridimensional do retículo e nem saber como esses íons estão rearranjados,

podendo criar qualquer estrutura. Assim, dá espaço para concepções alternativas, em que os alunos consideram os compostos iônicos como uma molécula, discreta e direcional, não os considerando como uma rede cristalina (BEN ZVI *et al.*, 1987) (BARKER; MILLAR, 2000).

No mesmo parágrafo, o autor comenta que nos sólidos iônicos os cátions estão fortemente atraídos pelos ânions e não possuem mobilidade, não explicando o porquê, não se referindo ao retículo cristalino e induzindo o aluno a achar que não possuem mobilidade apenas porque os íons estão fortemente atraídos, não levando em consideração a organização da rede cristalina.

Durante todo o tópico de ligações iônicas não há uma representação tridimensional da estrutura do retículo cristalino, apenas uma figura bidimensional, não constando sua explicação. Somente 13 páginas depois, no tópico de ligações covalentes, é que o autor coloca a foto tridimensional da rede cristalina iônica, que, além de distante, fica fora do contexto e o aluno não irá relacionar com a rede cristalina citada uma vez anteriormente. Já que não foi explicado, o aluno pode ter a concepção de que a ligação iônica é apenas entre um cátion e um ânion e que o restante são apenas forças entre os íons, além de não considerar que todos os íons se atraem mutuamente (TABER, 1994).

Ao explicar como ocorre a condução de eletricidade, o autor explica os processos de hidratação e de dissociação iônica, mas, para isso, em nenhum momento menciona o retículo cristalino e trata a substância iônica como uma junção apenas de um cátion e um ânion, que submetidos a esses processos, apenas se separam, sendo um ponto muito negativo e sujeito a concepções alternativas (BOO, 1998).

Então, o autor aborda como os íons são formados, relembra que está adotando um modelo para isso, e utiliza o modelo atômico de Bohr para explicar como um átomo se aproxima de outro e atrai o último elétron da camada eletrônica, por eletronegatividade, e esse elétron é transferido para o átomo, formando os íons. Assim o autor conclui definindo como ligação iônica a interação, atração eletrostática, entre cátions e ânions. Nesse ponto o autor utiliza a eletronegatividade para explicar como os íons se formam, sendo que a maior parte dos alunos não leva em conta o conceito de eletronegatividade

para explicar essa formação, se baseando apenas na configuração eletrônica da última camada como determinante.

Antes de partir para a explicação da formação das ligações iônicas pela regra do octeto e pela valência, é lembrado que as forças de atração e repulsão das partículas atômicas não explicam todos os tipos de ligações químicas, existindo outros modelos de explicação e assim evitando possíveis confusões em que os alunos misturam os modelos dos três tipos de ligações químicas (BLANCO; PRIETO, 1996).

Na seção da regra do octeto, ainda no tópico de ligações iônicas, é feito um breve resumo histórico do estudo da estabilidade e da configuração eletrônica. Então é mostrado o princípio da regra do octeto, que os átomos, ao estabelecerem ligações químicas, ficam com oito elétrons na última camada eletrônica, como acontece nos gases nobres, com exceção do hélio. Ao ler isso, o aluno tem uma forte tendência de tomar essa verdade como absoluta e validá-la para todos os casos, como se a única razão de os átomos se unirem fosse apenas para atingir o octeto e assim a estabilidade, mas o autor alerta que essa regra não explicou o motivo da estabilidade dos átomos e que não é uma regra geral, pois muitas substâncias são formadas e não têm o octeto completo na configuração eletrônica. No entanto, essa descoberta abriu possibilidades de pesquisa e tornou-se mais uma evidência de que os modelos empregados pelas Ciências têm limitações, mostrando a necessidade de alteração ou substituição dos modelos tradicionais. Entretanto, a regra do octeto, mesmo com restrições, continua sendo utilizada como base para explicar a fórmula e a estrutura de muitas substâncias, como as estudadas no ensino médio.

Com isso, o autor esclarece um dos pontos em que os alunos têm grandes dificuldades, gerando concepções alternativas, que é o de considerar que as propriedades macroscópicas são explicadas por modelos e que cada modelo satisfaz algumas questões, mas é limitado em outras, podendo abstrair da análise macroscópica e entender a análise microscópica com suposições, modelos de explicação. Em seguida, o autor correlaciona o modo de formação das ligações iônicas com a tabela periódica e a camada de valência. Para isso ele utilizou o modelo da regra do octeto, porém, como foi feita essa introdução esclarecedora anteriormente, já fica mais fácil para o aluno entender que,

apesar de ser usado esse modelo, ele tem suas limitações e não é uma verdade absoluta para todos os casos.

Através da tabela periódica, foram relacionados os grupos dos elementos representativos e a carga geralmente assumida por esses elementos desses grupos, mostrando, assim, que as substâncias iônicas são produzidas pela combinação entre átomos de metais e átomos de não metais, lembrando que esse princípio não é aplicável aos átomos de todos os elementos químicos. Novamente o autor cuida em deixar claro que isso é aplicado somente nesse caso de ligação iônica, para evitar possíveis confusões que os alunos costumam fazer ao atribuir as mesmas regras e características para os três tipos de ligações.

Somente 9 páginas após ter iniciado o capítulo de ligações iônicas, o tópico das ligações iônicas é fechado falando sobre a representação das substâncias iônicas, utilizando o modelo proposto por Lewis e explicando o conceito de camada de valência. É então mostrada, por desenhos, a representação de Lewis para a visualização das substâncias iônicas com mais de um cátion ou mais de um ânion. Aqui, o aluno consegue visualizar bem que há transferência de elétrons na ligação iônica, porém, como o autor foi cauteloso ao explicar a utilização e limitações dos modelos, não induz ao surgimento de concepções alternativas relacionadas à transferência de elétrons (TABER, 1998).

No tópico de ligação covalente, o autor já deixa claro desde o início a diferença entre a ligação covalente e a iônica, sendo que a covalente não é constituída por íons, na interação entre os átomos não há transferência de elétrons e que nos íons os átomos possuem configuração eletrônica semelhante à dos gases nobres, embora haja exceções. O autor colocou bem essa diferença entre as ligações, afirmando que tem outro jeito de os átomos interagirem sem formar íons, já que os alunos tendem a aplicar as mesmas regras pra ligações iônicas e covalentes. Porém, apesar de ter alertado no capítulo anterior, ao fazer um breve resumo das ligações iônicas, deixa-se uma impressão de que essas só se dão pela transferência de elétrons e como se a sua formação acontecesse somente quando a configuração eletrônica fosse completada pela formação do octeto.

Em seguida, é colocado que a ligação covalente é a união de átomos por compartilhamento de um par de elétrons, sendo que cada átomo interage com o seu elétron e o do átomo vizinho. Assim, o autor evita a concepção alternativa que os alunos têm de que na ligação covalente ocorre compartilhamento de um único elétron entre dois átomos (BOO, 1998). É colocado que não ocorre transferência de elétrons na ligação covalente, pois quando um átomo de cloro se aproxima de um átomo de hidrogênio, por exemplo, nenhum dos dois possui força suficiente para remover um elétron do outro. Para isso o autor não menciona a eletronegatividade, deixando brecha para o aluno achar que os átomos são dotados de alguma força concreta.

Ao mencionar que o compartilhamento de elétrons entre o hidrogênio e o cloro faz ambos obedecerem à regra do octeto, é lembrado que muitos átomos não seguem essa regra. Assim como, a ligação covalente ocorre com não metais, metais e não metais ou até mesmo entre metais. Relembra o aluno que a regra do octeto não é aplicada para todos os casos evita essas concepções alternativas.

O autor explica as ligações covalentes simples, duplas e triplas, todas baseadas na representação eletrônica de Lewis e abordando o modelo de compartilhamento de elétrons, em que os átomos se unem para completar a camada de valência e seguir a regra do octeto. Dessa maneira o aluno é facilmente induzido a achar que a única razão dos elétrons serem compartilhados é para atingir a camada de valência e seguir a regra do octeto (BODNER, 1991) (TABER, 1998). Durante todo o tópico de ligações covalentes, em nenhum momento é mencionado ou explicado que a eletronegatividade irá influenciar em como os elétrons serão compartilhados, dando a impressão de que o compartilhamento acontece igualmente nas eletrosferas, como mostra a representação da molécula de água da FIGURA 2, retirada do livro. (BIRK; KURTZ, 1999). Este é um ponto negativo, já que pode induzir o aluno a achar que está sendo explicado utilizando o modelo de camadas de Bohr.

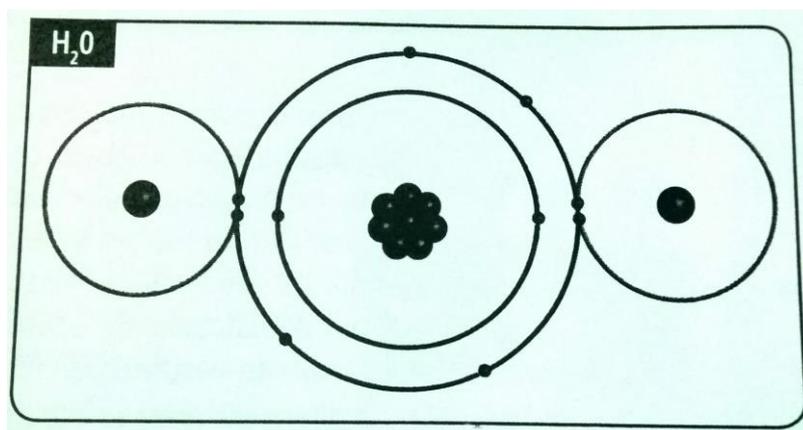


FIGURA 2- Representação da molécula de água

FONTE: SANTOS (2013, p.239)

E, para finalizar o tópico dos tipos de ligações covalentes, é colocado o conceito de ligação covalente coordenada, que o autor frisa que antigamente era chamada de ligação covalente dativa, de forma simples e direta, como sendo quando os elétrons compartilhados em uma das ligações se originam de um só átomo e que nada difere, em termos de interação, da ligação covalente em que os elétrons são provenientes dos dois átomos.

Como um dos grandes problemas de compreensão dos alunos nesse conteúdo é a abstração para o entendimento microscópico, assim como ter muito bem definidos os conceitos de elétrons, átomos e moléculas, o autor, na sequência, explica minuciosamente o que são moléculas, as fórmulas moleculares, fórmulas mínimas, substâncias reticulares, constituintes amoleculares e algumas formas alotrópicas. E observa que há substâncias que podem ser formadas por mais de um tipo de ligação química, como substâncias iônicas que apresentam em seus constituintes ligações covalentes, sendo que poucos alunos conseguem visualizar a união das duas ligações, por tratar como grupos isolados e dotados de poucos exemplos, em que suas características são extrapoladas para o geral. O fato de o autor procurar esclarecer todos esses conceitos ajuda a evitar as concepções alternativas, já que essas também podem surgir pela falta de explicação e clareza do conteúdo.

Durante todo o capítulo, são dados poucos ou quase nenhum exemplo de aplicação e, principalmente, as características dos compostos iônicos, covalentes e metálicos.

Na representação geométrica das moléculas, é colocado que a distribuição dos átomos nas moléculas ocorre em três dimensões e é responsável por muitas propriedades das substâncias. Observa-se que a fórmula estrutural não representa a distribuição no espaço, não indicando, assim, as orientações e usa a teoria da repulsão dos pares de elétrons para mostrar como se chega à geometria das substâncias. Fala da utilização do modelo de esferas e barras e que foram necessárias outras teorias e modelos para a explicação da geometria, já que a teoria do octeto não dá subsídio para a previsão da forma geométrica das moléculas. Ao fazer isso, o autor lembra um dos pontos principais das ligações químicas, que é a utilização de modelos para explicá-las e, nesse caso, a geometria, derrubando até a teoria do octeto, que muitos alunos a tomam como uma verdade aplicável em todos os casos e que realmente acontece na dimensão microscópica.

Na polaridade das moléculas, abordando ligações covalentes polares e ligações covalentes apolares, foi elucidado tudo sobre eletronegatividade que anteriormente não havia sido mencionado, mostrando até os números de eletronegatividade propostos por Linus Pauling. São colocadas as diferenças de formação de íons e polos, em que esse, obtido na ligação, se refere a uma carga parcial, uma vez que os elétrons estão sendo compartilhados e não transferidos de um átomo para o outro. Mas é explicado que, quando a diferença de eletronegatividade é muito grande entre dois átomos ligantes, tem-se uma ligação iônica e, quando a diferença de eletronegatividade entre dois átomos é nula, tem-se uma ligação covalente, iniciando o conceito de predominância da ligação e caráter de ligação. Assim, são evitadas as concepções de que a polaridade da ligação se deve ao compartilhamento igualitário de elétrons em todas as ligações covalentes, que a polaridade depende do número de elétrons na camada de valência no átomo da ligação e que a polaridade é determinada pela carga iônica (PETERSON *et al.*, 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989). Tanto no texto de geometria molecular quanto no texto de polaridade não é mostrado como essas duas são interligadas, reforçando a concepção dos alunos de que a geometria não influencia na polaridade e vice-versa, tratando-as como conhecimentos separados (FURIÓ; CALATAYUD, 1996).

No tópico de ligação metálica, o autor aborda muito bem a definição dessa, envolvendo conceitos de retículo cristalino, energia de ionização, raio atômico, evidenciando que essa ligação não é direcional, ocorrendo as interações em todas as direções e que esse é um modelo teórico para a explicação da ligação metálica.

Para a caracterização da ligação metálica, é colocado que os elétrons da camada de valência de átomos de metais são fracamente atraídos por seu núcleo. Com isso, esses elétrons apresentam alto grau de liberdade, por conta do padrão de organização do retículo cristalino e do alto valor de raio atômico, que permite que os átomos metálicos compartilhem os elétrons de suas camadas de valência com átomos vizinhos. Como se fosse uma única camada de valência, contendo todos os elétrons das camadas de valências dos átomos desses metais, permitindo assim que esses elétrons possam fluir por todo o retículo cristalino. Com essas explicações, são evitadas as concepções de que a ligação metálica não é uma ligação real, pois não envolve o compartilhamento de elétrons ou que esse compartilhamento ocorre apenas para obedecer à regra do octeto. Seria interessante o autor mencionar e deixar bem clara a diferença desse compartilhamento com o compartilhamento da ligação covalente, da mesma maneira, a diferença dessas interações no retículo com a ligação iônica, pois o aluno tende a confundir os três modelos e a não se ater que cada ligação tem um modelo de explicação (BLANCO; PRIETO, 1996).

Ainda, no começo do tópico de ligações metálicas, o autor compara com os sólidos covalentes e iônicos, evitando possíveis confusões de troca de conceitos e modelos entre esses. Porém, apenas no final do capítulo, é que o aluno consegue entender claramente o que é o retículo cristalino, como os átomos estão arranjados e como acontecem as interações. Isto prejudica o entendimento do conceito de ligação iônica, feito 29 páginas antes, em que apenas é citado o retículo cristalino, mas não é explicado seu conceito, prejudicando a aprendizagem e dando espaço para outras concepções (BARKER; MILLAR, 2000).

Aqui, o autor frisa que é um modelo que melhor explica a ligação metálica e comenta que são usadas expressões como "mar de elétrons" ou "nuvem de elétrons" para designar os elétrons livres, evitando concepções

antropomórficas e a redução do conceito de ligações metálicas apenas a mar de elétrons, o que a maioria dos alunos lembra, mas não consegue entender o conhecimento científico ali inserido (FERNANDEZ E MARCONDES, 2006).

6.1.4 Livro didático L4

No livro didático L4, na introdução do capítulo intitulado “Ligações químicas, características das substâncias iônicas, moleculares e metálicas e geometria molecular”, o autor introduz o assunto comparando as propriedades da panela de alumínio e da panela de ferro e, posteriormente, as do sal de cozinha e do açúcar. Com isso já levanta duas questões pertinentes: “Que modelo seria adequado para explicar esse comportamento?” e “Como as ligações estão relacionadas com as propriedades dos materiais?”. Com isso o autor já deixa claro na primeira página do capítulo que a explicação do comportamento e das propriedades dos materiais se dá através da elaboração de um modelo e, durante todo o capítulo, explica sobre diferentes conteúdos. O autor reforça e cita várias vezes que se trata de um modelo proposto de explicação. Outro ponto positivo é que, em uma das caixas de texto “Saber mais”, foi abordado “O modelo explica as propriedades observadas”, em que se comenta como o modelo de estrutura dos sólidos iônicos é capaz de explicar as propriedades das substâncias.

No primeiro tópico de introdução ao estudo das ligações químicas, o autor faz o encaixe com dois assuntos, modelo do octeto e estabilidade dos gases nobres e o conceito clássico de valência. Porém, o assunto não é explicado de maneira lógica, o que, além de ficar difícil pra um aluno que nunca viu o assunto, o faz pensar que o único motivo pelo qual os átomos se unem seria pra completar o octeto da camada de valência, como sendo a única razão da estabilidade. Para iniciar o conteúdo de ligações, o autor primeiro apresentou o conceito de substâncias iônicas, moleculares e metálicas, que seriam classificadas assim de acordo com sua condutibilidade elétrica.

No tópico de ligação iônica, o conceito foi abordado de forma positiva já que não citou como sendo apenas uma transferência de elétrons e sim devido à atração eletrostática entre espécies de cargas opostas, ou seja, entre íons. Explica em seguida o conceito de sólido iônico associado ao retículo cristalino,

mostrando a foto da representação geométrica e um quadro das propriedades dos compostos iônicos e a sua explicação por meio da estrutura dos sólidos iônicos. O autor não utiliza a eletronegatividade para explicar como e por que os íons se atraem para formar a ligação iônica, sendo um ponto negativo. O ponto positivo é que, como o autor não abordou o modelo do octeto ou de valência para explicar as ligações iônicas, evitou todas as concepções relacionadas a essa.

Assim, 15 páginas após ter abordado o conceito de ligações iônicas, em uma caixa de texto “Você se lembra?” no tópico de polaridade das ligações, é que o autor se refere à ligação iônica como transferência de elétrons do átomo menos eletronegativo para o mais eletronegativo, formando uma espécie química por cátions e ânions. Este tópico está desconectado do conteúdo de referência, uma vez que a transferência de elétrons já foi mencionada, por eletronegatividade e formação da ligação iônica. Isso, além de deixar o aluno confuso, faz com que ele não entenda o porquê da transferência de elétrons, pois anteriormente só foi mencionada a atração eletrostática.

O autor explica de forma muito clara e evidente o retículo cristalino, fazendo com que o aluno entenda que a atração não é apenas de um cátion com um ânion, mas entre todos os íons da conformação cristalina de forma mútua. Explica que, para romper o retículo cristalino, muita energia é necessária, que a estrutura rígida do retículo não permite a livre movimentação dos íons e que o aumento da temperatura faz com que os íons passem a vibrar com mais intensidade até que ocorre o rompimento do retículo, permitindo que as espécies carregadas adquiram movimentos de translação. Com isso, o autor não deixa que concepções alternativas se formem, como: i) não levar em consideração o retículo cristalino nos íons, achando que apenas um cátion se liga com apenas um ânion; ii) a energia é liberada quando as ligações se rompem; iii) o calor faz as moléculas se expandirem e a ligação se romper; iv) e os átomos não se movem em uma ligação química (BARKER; MILLAR, 2000) (TABER, 1994) (HAPKIEWICZ, 1991) (TEICHERT; STACY, 2002) (NICOLL, 2001).

Em seguida, é explicado como acontece a dissolução de substâncias iônicas em água, em que ocorre a quebra do retículo cristalino e separação dos íons, explicando também a solvatação, hidratação e o motivo de a solução

iônica conduzir eletricidade. O autor aborda muito bem esses conceitos, não deixando indicativos pra concepções alternativas, mostrando até um desenho ilustrativo do retículo cristalino como sendo o agregado de várias moléculas (BOO, 1998).

No próximo tópico, é abordado o conceito de ligação covalente, em que o autor a define como sendo o compartilhamento de um ou mais pares de elétrons da camada de valência dos átomos envolvidos, sendo esses elétrons atraídos pelos núcleos dos dois átomos participantes da ligação e essa força de atração que manteria os átomos unidos. Da mesma maneira, o autor aqui não se aprofunda em explicar como essas ligações são feitas, apenas no tópico de polaridade, 11 páginas depois, que é possível entender de que forma esse compartilhamento acontece. Como os conceitos estão muito distantes no livro, o aluno tem a concepção primeira de que é feita sobre ligações covalentes, não fazendo o gancho necessário depois com a polaridade e eletronegatividade, tratando desses assuntos separadamente. Tornando assim o Ensino de Química fragmentado.

O ponto positivo, tendo em vista que muitos alunos têm a concepção de que quando ocorre mudança de estado físico as ligações químicas se rompem, é que na caixa de texto “Saber mais” é abordada a diferença de reação química e mudança de estado físico no que se refere a ligações químicas, deixando claro que na mudança de estado físico não há rompimento de ligações químicas. E, ainda, evidencia que, assim como nas substâncias iônicas, as substâncias covalentes e as metálicas também apresentam no estado sólido uma disposição espacial das espécies que as constituem, o retículo cristalino.

Ao explicar como uma ligação covalente coordenada é formada, o autor não deixa concepções de que apenas é compartilhado um elétron entre dois átomos, explicando que a ligação covalente não precisa ocorrer com a participação de um elétron proveniente de cada átomo, podendo se dar com a participação de elétrons de um único átomo. A seguir são mostradas, juntamente com a ligação covalente coordenada, as estruturas de ressonância, não explicando a fundo, mas evidenciando que suas representações devem ser interpretadas apenas como modelos, assim como o modelo do octeto, em que o autor enfatiza que não se pode perder de vista que se trata apenas de um modelo, com suas limitações.

São assim abordadas as diferenças de substâncias moleculares e sólidos covalentes, o conceito de alotropia e a diferença de dissolução e ionização de substâncias moleculares, todos explicados de maneira clara, por desenhos tridimensionais e reações.

No tópico de ligação metálica, aborda primeiramente o conceito de ligação metálica, depois explica que os núcleos dos átomos de elementos metálicos apresentam baixa atração pelos elétrons da camada de valência e assim esses circulam por todo o material. Novamente o autor não explica como é feita, de maneira mais aprofundada, a ligação metálica, apenas de maneira geral o modelo de “mar de elétrons”, deixando indícios para as concepções alternativas surgirem, em que a ligação metálica é vista com as mesmas características das covalentes.

Durante todo o capítulo o autor explica muito bem as propriedades das substâncias iônicas, covalentes e metálicas, relacionando com o conceito, porém, não se aprofunda na essência de como essas ligações são formadas, o que prejudica o entendimento do aluno, pois se este não entender exatamente como cada ligação é formada nos modelos microscópicos, ele não vai conseguir diferenciá-las e nem assimilar às propriedades macroscópicas. Por isso é forte a concepção alternativa observada de que apenas a ligação covalente é uma ligação de verdade e que os alunos enxergam as outras ligações também como sendo ligações com compartilhamento de elétrons para atingir o octeto na camada de valência, já que apenas nas ligações covalentes é explicada a sua formação, ainda de maneira reduzida e precária (COLL; TREAGUST, 2003).

No próximo tópico foi abordada a relação entre eletronegatividade e ligações químicas, em que é colocado o conceito de eletronegatividade, e, de maneira sucinta, como isso influencia no caráter iônico, covalente e metálico das ligações. Tendo em vista que a eletronegatividade é um ponto muito importante para o entendimento de como acontecem as ligações químicas e levando em conta que a maioria dos estudantes não considera a eletronegatividade na explicação das ligações químicas (BIRK; KURTZ, 1999), o autor poderia ter abordado esse tópico com a explicação de cada ligação, relacionando a influência da eletronegatividade de modo mais aprofundado. Considerando a importância desse tópico, considera-se um ponto negativo a

maneira como a eletronegatividade é abordada no texto. No final do capítulo, a eletronegatividade é utilizada apenas para explicar caráter da ligação, de um modo sucinto e desconexo dos outros conceitos.

Nos últimos tópicos, que explicam a estrutura espacial das moléculas, geometria e polaridade das ligações, os conceitos foram explicados de maneira clara. Porém, somente no final do capítulo de ligações químicas, é que o aluno compreende que há formação de dipolos elétricos e que na ligação covalente o compartilhamento de elétrons não se dá da mesma maneira em todas as moléculas, podendo prejudicar a aprendizagem desse conceito possibilitando, assim, o surgimento das concepções alternativas (BIRK; KURTZ, 1999).

Em momento algum o autor faz a relação da geometria molecular com a polaridade até então. Da mesma maneira, no tópico de polaridade, não faz nenhuma menção da relação desta com a geometria. Porém, no próximo tópico, intitulado Geometria molecular e polaridade das moléculas, o autor não explica de maneira clara como a geometria tem relação com a polaridade. Poderia ter explicado melhor esse item, mas da maneira como foi abordado não gerou indução a concepções alternativas.

6.2 COMPARANDO OS LIVROS DIDÁTICOS

Feita a análise de conteúdo, ficou claro que em todos os livros houve pontos que induziram ao aparecimento de concepções alternativas nos alunos, alguns com mais e outros menos. Ressalta-se que, neste trabalho, foi analisada uma determinada quantidade de concepções alternativas, mostrando uma parte do global. Porém, é evidente que há outros tipos de concepções alternativas, tendo em vista o vasto conteúdo e os conhecimentos relacionados às ligações químicas.

Pôde-se perceber que nenhum livro didático é ideal e não apresentou nenhum indício de concepções alternativas relacionadas à ligação iônica, ligação covalente, ligação metálica, geometria e polaridade. Apesar disso, cada livro tem a sua particularidade, seu ponto positivo, e se destaca por algum conteúdo muito bem abordado.

O QUADRO 2 mostra, com o “X”, às quais concepções alternativas o livro induziu no conteúdo de ligações iônicas. Na LEGENDA 1, apresenta-se quais foram essas concepções alternativas, e na LEGENDA 2, quais livros didáticos foram analisados.

Concepções alternativas Ligação iônica												
Livros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L1		X		X		X	X	X	X			X
L2												
L3	X			X		X	X	X	X			
L4			X		X							

QUADRO 2 - Relação das concepções alternativas na ligação iônica encontradas nos livros didáticos.

FONTE: O autor (2015)

Legenda de concepções alternativas na Ligação Iônica
1. A configuração eletrônica da última camada determina o número de ligações iônicas formadas (TABER, 1994)
2. Ligações formadas apenas entre os átomos que doaram e aceitaram elétrons (TABER, 1994)
3. É a transferência de elétrons, não levando em conta a eletronegatividade (TABER, 1998)
4. O íon interage apenas com seu contra-íon, não interagindo com todos os outros ao seu redor no retículo cristalino (TABER, 1994)
5. Compostos iônicos regidos pelas mesmas regras dos compostos covalentes (BARKER; MILLAR, 2000)
6. Composto iônico como uma molécula, discreta e unidirecional (BARKER; MILLAR, 2000)
7. Não consideram o retículo cristalino (BARKER; MILLAR, 2000)
8. Somente ligações iônicas fracas podem ser rompidas em processos de dissolução (BOO, 1998)
9. Os elétrons não se movem em uma ligação (NICOLL, 2001)
10. Ocorre ligação química apenas para atingir a regra do octeto (TABER, 1998).
11. A formação do octeto é a única razão da estabilidade das substâncias (MORTIMER et al., 1994)
12. Estas interações são apenas forças e não uma ligação (TABER, 1994)

LEGENDA 1 - Legenda das concepções alternativas na ligação iônica.

FONTE: O autor (2015)

Legenda de livros didáticos
L1: Autora Martha Reis
L2: Autores Eduardo Mortimer e Andréa Machado
L3: Autor Wildson Pereira dos Santos
L4: Autor Murilo Antunes

LEGENDA 2 - Legenda dos livros didáticos analisados.

FONTE: O autor (2015)

A partir do QUADRO 2, é possível perceber que o livro L2 foi o que menos induziu a concepções alternativas relacionadas ao conteúdo de ligações iônicas. Isso foi possível, pois a maioria das concepções está relacionada ao modelo da regra do octeto. Como esse livro não abordou esse modelo pra tal explicação e nem o mencionou durante todo o capítulo, evitou essas concepções. O livro L2 foi o que melhor explicou o conceito de ligação iônica, aliando à eletronegatividade, caráter de ligação, retículo cristalino e comparou com uma ligação covalente polar. Ainda, esse livro explicou as propriedades dos compostos iônicos a partir desse modelo de ligação.

Em seguida, o livro L3 foi o segundo que apresentou menos concepções alternativas induzidas, porém, segundo o QUADRO 2, o livro L4 apesar de não ter induzido a tantas concepções alternativas, apresentou diversos erros, e omitiu muitos conceitos, que ficam propensos a concepções alternativas. Assim, apesar de o livro ter introduzido os conceitos do modelo do octeto e de valência, ele não os utiliza para a explicação da ligação iônica, evitando, assim, as concepções ligadas a esses modelos. Porém, ele não diferencia em nenhum momento os três tipos de modelos de ligações iônicas, covalentes e metálicas. É feita uma confusão de conceitos em que é apresentada como ligação iônica a força eletrostática entre os íons, e, 14 páginas depois, em um quadro pequeno, o autor aborda a eletronegatividade e transferência de elétrons, o que acaba gerando dúvidas e mistura de conceitos, sendo um entrave no conhecimento. Também ele não utiliza a eletronegatividade para explicar como a ligação iônica ocorre, apenas cita-as em partes do capítulo para explicar caráter da ligação.

Assim, apesar de ter evitado a indução a muitas concepções alternativas, o livro L4 apresentou um grande ponto negativo no conceito da ligação iônica e no aprofundamento do conhecimento desse conceito.

O livro L3 explica razoavelmente o conceito de ligação iônica e formação de íons, utilizando a eletronegatividade. Comenta sobre a transferência de elétrons, mas não conceitua isso como sendo a ligação iônica e, ainda, o autor é muito cauteloso ao explicar em cada momento que se trata de modelos para a explicação dos fenômenos macroscópicos, mas que possuem as suas

limitações e não são aplicáveis a todos os casos, evitando assim a indução a muitas concepções. Porém, o grande erro do livro L3 foi não ter abordado o retículo cristalino na explicação da ligação iônica, sendo que esse é um conhecimento fundamental para a aprendizagem desse conteúdo, sendo a principal fonte de concepções alternativas nesse livro. Somente foi abordado, com explicações e fotos tridimensionais, o retículo cristalino no tópico de sólidos iônicos.

Da mesma forma, o livro L1 também não aborda o retículo cristalino para a explicação da ligação covalente, sendo a causa das concepções alternativas, e nem sequer menciona o retículo. O conceito de retículo cristalino é apenas utilizado para explicar a fórmula unitária e não a ligação iônica. Apesar disso, é o livro que melhor aborda o conceito de ligação iônica, utilizando a escala de eletronegatividade e caráter iônico.

No QUADRO 3, mostra-se as concepções alternativas, listadas na LEGENDA 3, relacionadas com os livros didáticos, no que se refere às ligações covalentes.

Concepções alternativas Ligação Covalente										
Livros	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
L1	X	X	X	X	X				X	X
L2							X			
L3	X	X		X	X	X	X		X	X
L4				X		X			X	X

QUADRO 3 - Relação das concepções alternativas na ligação covalente encontradas nos livros didáticos.

FONTE: O autor (2015)

Legenda de concepções alternativas na Ligação Covalente
13. Ligação covalente fraca por ter ponto de ebulição baixo (BARKER; MILLAR, 2000)
14. Ligação é rompida quando uma substância muda de estado físico (BARKER; MILLAR, 2000)
15. Todos os átomos ligados por ligações covalentes formam macromoléculas (TAN; TREAGUST, 1999)
16. Não fazem distinção entre forças intramoleculares e forças intermoleculares (TAN; TREAGUST, 1999)
17. O compartilhamento de elétrons acontece igualmente (BIRK; KURTZ, 1999)

18. Não levam em conta o conceito de eletronegatividade (BIRK; KURTZ, 1999).
19. Não tem uma regra específica de como irá ocorrer este compartilhamento (BIRK; KURTZ, 1999).
20. Uma ligação covalente mantém os átomos unidos porque a ligação está compartilhando elétrons (TABER, 1998)
21. Ocorre ligação química apenas para atingir a regra do octeto (TABER, 1998).
22. A formação do octeto é a única razão da estabilidade das substâncias (MORTIMER et al.,1994)

LEGENDA 3 - Legenda das concepções alternativas na ligação covalente.
 FONTE: O autor (2015)

O livro L2 foi o que apresentou menos induções a concepções alternativas, pois para sua explicação não utilizou os modelos do octeto e de valência e sim utilizou diagramas de energia e eletronegatividade para explicar a ligação covalente. Da mesma maneira, o livro L1 também explicou ligação covalente por diagramas de energia, porém aliou ao modelo do octeto, gerando muitas concepções referentes a esse modelo e por não ter tido o cuidado ao alertar as limitações do modelo.

O livro L4 não apresentou tantas concepções por não ter utilizado o modelo do octeto, porém não abordou o conteúdo em sua plenitude, não explicando ligações covalentes nem por energia e nem por eletronegatividade, podendo gerar concepções alternativas pela falta de explicação. O livro L3 também não abordou energia ou eletronegatividade para a explicação de ligação covalente e utilizou o modelo do octeto para tal, gerando várias concepções alternativas.

O livro L1 foi o único que não abordou que tipo de compostos, se iônico, molecular, covalente ou metálico, se formam com as ligações ali inseridas. Da mesma forma, não relaciona as características macroscópicas dos compostos com os modelos propostos, não fazendo a conexão com as propriedades. Tendo em vista que os modelos surgiram para explicar as propriedades macroscópicas, isso gera grande obstáculo para a aprendizagem.

Já o livro L2 foi o único que abordou interações intermoleculares, diferenciando-as das ligações covalentes, sendo um ponto muito positivo já que a maioria dos alunos não diferencia forças intermoleculares e intramoleculares,

achando que as ligações químicas são apenas forças e vice-versa. Assim, prejudica os conceitos de ligações químicas e o entendimento de suas propriedades como ponto de fusão e de ebulição. O QUADRO 4 apresenta as concepções alternativas, listadas na LEGENDA 4, relacionadas com os livros didáticos, no que se refere às ligações metálicas.

Concepções alternativas Ligação Metálica										
Livros	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
L1	X					X				
L2			X	X			X			
L3										
L4										

QUADRO 4 - Relação das concepções alternativas na ligação metálica encontradas nos livros didáticos.

FONTE: O autor (2015)

Legenda de concepções alternativas na Ligação Metálica
23. Ligação direcional (BARKER; MILLAR, 2000)
24. Não é uma ligação real, pois não envolve o compartilhamento de elétrons (BOO, 1998)
25. Há compartilhamento de elétrons para obedecer à regra do octeto (COLL; TREAGUST, 2003)
26. Somente consideram ligação química a situação em que há compartilhamento de elétrons (COLL; TREAGUST, 2003)
27. Sólidos metálicos são de natureza molecular (COLL; TAYLOR, 2001)
28. Envolve forças intermoleculares (COLL; TAYLOR, 2001)
29. Cargas positivas em compostos metálicos são núcleos e não íons (COLL; TAYLOR, 2001)
30. Possuem alto ponto de fusão e ebulição porque possuem características iônicas (ACAR; TARHAN, 2008)
31. É igual ao modelo de ligação iônica (ACAR; TARHAN, 2008)
32. Não considera o retículo cristalino (BARKER; MILLAR, 2000)

LEGENDA 4 - Legenda das concepções alternativas na ligação metálica.

FONTE: O autor (2015)

Nas análises dos livros, foi possível observar que as explicações de ligação metálica são abordadas, de forma sucinta e reduzida, em no máximo uma página ou até meia página. Percebeu-se que esse conceito não é explicado em sua plenitude e com o cuidado necessário para evitar obstáculos epistemológicos e concepções alternativas.

O único livro que teve uma abordagem mais completa do conteúdo de ligações metálicas foi o L3, em que, primeiramente, foi feita uma comparação com as outras ligações e as propriedades de seus sólidos, o que é muito importante, pois o aluno tende a misturar os conceitos dos modelos envolvidos nas ligações químicas. Explica os detalhes de como se forma a ligação metálica, envolvendo os conceitos de retículo cristalino, energia de ionização, raio atômico e a não direcionalidade da ligação, e também com as propriedades apresentadas pelos metais. Apesar de o livro L4 não ter induzido a concepções alternativas, o conteúdo poderia ter sido explicado de forma mais completa.

O livro L2 apresentou um ponto negativo ao explicar a ligação metálica utilizando núcleos positivos e cátions de maneira que fica difícil entender qual dos dois explica esse modelo. Da mesma forma, o autor começa o conceito comparando com ligação covalente, mas que se deu de forma confusa e não clara, de modo que, ao invés de o aluno perceber a diferença ele pode, ao contrário, confundir os modelos.

O livro L1 explicou de maneira muito sucinta o conteúdo, não abordando de forma a evitar obstáculos epistemológicos e concepções alternativas, pois não abordou a direcionalidade da ligação, como os átomos interagem no retículo cristalino e por que esse modelo explica as propriedades que os metais apresentam.

O QUADRO 5 apresenta as concepções alternativas, listadas na LEGENDA 5, relacionadas com os livros didáticos, no que se refere à polaridade e geometria das moléculas.

Concepções alternativas Polaridade e Geometria								
Livros	34	35	36	37	38	39	40	41
L1								
L2	X	X	X	X				
L3	X	X		X				
L4								

QUADRO 5 - Relação das concepções alternativas na polaridade e geometria das moléculas encontradas nos livros didáticos.
 FONTE: O autor (2015)

Legenda de concepções alternativas na Polaridade e Geometria
34. Tratam geometria e polaridade como conhecimentos separados (FURIÓ; CALATAYUD, 1996)
35. Não consideram que a geometria influencia na polaridade e vice-versa (FURIÓ; CALATAYUD, 1996)
36. A geometria é devida somente pela repulsão entre ligação e pares de elétrons ligantes (PETERSON <i>et al.</i> , 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989)
37. A polaridade determina a geometria (PETERSON <i>et al.</i> , 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989)
38. Polaridade depende do número de elétrons na camada de valência (PETERSON <i>et al.</i> , 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989)
39. A polaridade é determinada pela carga iônica e se deve ao compartilhamento igualitário em todas as ligações covalentes (PETERSON <i>et al.</i> , 1989) (PETERSON; TREAGUST, 1989)
40. A energia é armazenada nas ligações químicas (HAPKIEWICZ, 1991) (TEICHERT; STACY, 2002).
41. Ideia aditiva ao invés de interativa das substâncias (BEN ZVI <i>et al.</i> , 1987)

LEGENDA 5 - Legenda das concepções alternativas na polaridade e geometria.

FONTE: O autor (2015)

Observou-se que nos livros L3 e L4, os tópicos de polaridade de ligação são abordados quase no final do capítulo, estando muito longe da explicação da ligação covalente, dificultando para o aluno fazer as relações desses dois conhecimentos e dando brechas pra concepções alternativas. Já os livros L1 e L2, logo após terem abordado sobre ligação covalente, em seguida explicam a polaridade da ligação, já que essa é a principal explicação da ligação, facilitando a compreensão desse modelo.

O livro L2 não abordou geometria no capítulo sobre ligações químicas e nem a relacionou com polaridade, sendo um ponto negativo, induzindo a concepções alternativas. O livro L3 abordou geometria no capítulo, mas não fez nenhuma relação com a polaridade, tratando de assuntos separados.

Dessa maneira, o livro que melhor abordou esse conceito, de modo a não induzir a concepções alternativas, foi o L1, pois deixou bem claro como a geometria influencia na polaridade. O livro L4 também não induziu a concepções alternativas, porém poderia ter evidenciado melhor a relação dessas duas no texto.

Sendo assim, observou-se que não abordar determinado modelo para a explicação das ligações pode evitar muitas concepções alternativas, porém, só

isso não garantirá que o aprendizado seja efetivo e nem que não surgirão novas concepções alternativas, pois depende se o conteúdo será introduzido com os conceitos corretos, de maneira esclarecedora e bem explicada. Isso porque os conteúdos que não são bem explicados geram dúvidas nos alunos no processo de aprendizagem, e esse é um caso em que eles acabam formando teorias para a explicação do conceito, que não são cientificamente corretas, as concepções alternativas.

O ponto positivo foi que os quatro livros mencionaram que se trata de modelos para a explicação das propriedades físicas e que têm suas limitações. Alguns livros fizeram isso de maneira bem cuidadosa e eficiente, como o livro L3, e outros apenas citaram, como o livro L2.

Da mesma forma, é muito importante nesse conteúdo de ligações químicas fazer a conexão das propriedades macroscópicas observadas com os modelos criados para explicá-las. Assim, apenas o livro L1 não faz essa conexão e nem explica os sólidos formados. Fica claro que todos os livros apresentam pontos negativos e positivos, sendo que na análise do conteúdo de ligações químicas sobre o olhar das concepções alternativas, o livro L2 é o que apresenta menores induções a concepções alternativas, sendo o único que diferenciou ligações químicas de forças intermoleculares, abordando muito bem todo o conteúdo. Entretanto, ainda é um livro que apresenta seus pontos fracos pelos motivos abordados anteriormente.

Diante desta análise, cabe ao professor não seguir somente um livro didático, devendo procurar outras fontes de conhecimento. Deve sim, analisar os livros, selecionando o melhor para determinado assunto de maneira que favoreça o processo de ensino-aprendizagem.

Assim, tanto os livros quanto o professor, no momento de ministrar a aula, podem induzir o aluno a ter concepções alternativas. Elas normalmente surgem quando o conteúdo não é explicado em sua plenitude, se atendo às nuances, ou quando é explicado de certa maneira que induz a outro raciocínio que parece plausível, mas não é a explicação científica para aquilo. Então, isso acaba sendo um obstáculo na aprendizagem do aluno, gerando dificuldades

não só na explicação de um conteúdo, mas de vários, pois na química o conteúdo é todo interligado (ATKINS, 2006).

Se o aluno apresenta uma concepção sobre molécula e átomo diferente da científica, ele terá dificuldade na aprendizagem de todo o conteúdo de ligações químicas, pois a maioria dos livros e dos professores já iniciam o conteúdo supondo que o aluno compreende corretamente todo o conteúdo de química ministrado até ali. Não retornam a esses conceitos durante a aula de ligações químicas. Dessa maneira, o aluno não tem a oportunidade de fazer a mudança do conceito que ele tem, por exemplo, sobre molécula para o conceito científico sobre molécula.

Por isso, o professor tem papel fundamental nesse processo, não só o de evitar as concepções alternativas, como também o de fazer a mudança das concepções existentes para o que é explicado cientificamente. Isso será possível, do nosso ponto de vista, se ao preparar a aula sobre ligações químicas, o professor ler sobre os estudos realizados a respeito das dificuldades de aprendizagem com o foco para concepções alternativas, de forma a preparar a aula alertando principalmente para pontos críticos em que essas surgem. Além disso, é necessário explicar claramente as diferenças dos conceitos, revendo os conceitos anteriores e mostrando a que ponto se quer chegar, pois pelo fato de a química ser um conteúdo muito abstrato para os alunos, eles acabam não fazendo a relação do macroscópico para o microscópico e que todas esses modelos de ligação vistos são teorias para explicar os fenômenos macroscópicos.

O professor tem papel fundamental para fazer todas estas interações do conhecimento em que o aluno apresenta dificuldades de aprendizado e tentando amenizar o surgimento de concepções alternativas, pela investigação apresentada aqui, nenhum livro se mostrou eficaz. Se o aluno utilizasse somente um dos livros didáticos dessa análise e aprendesse somente por esse meio, ele certamente teria muitos obstáculos epistemológicos causados pelas concepções alternativas induzidas nos livros didáticos, não se mostrando o único método eficaz para o aprendizado do conteúdo de ligações químicas. Da mesma forma, se o aluno, por conta própria, utilizar os quatro livros e estudar

sobre o conteúdo de ligações químicas, ele terá mais obstáculos epistemológicos, pois perceberá diferentes abordagens e conceitos para os três tipos de ligação, em cada livro, confundindo todos os conceitos e, não sabendo, qual é a abordagem correta.

Portanto, nota-se que ainda há muitos pontos a melhorar nos livros didáticos, de modo a não induzir a concepções alternativas, pensando no modo como o aluno efetiva a aprendizagem e nos pontos em que há obstáculos.

Mesmo o livro que apresentou menos induções a concepções alternativas não mostrou-se totalmente eficiente nesse ponto, e esse é um dos quatro livros indicados pelo PNLD-2015 que as escolas públicas de ensino médio podem adotar. Dessa maneira, como cada escola escolhe por seguir um dos quatro livros didáticos, há muitas que possivelmente escolheram o livro que obteve mais induções a concepções alternativas no conteúdo de ligações químicas, apresentando dificuldades de aprendizado. Evidencia-se assim a importância do professor em conhecer as concepções alternativas que os alunos podem ter e as concepções que o livro induz, ministrando uma aula voltada não só para evitá-las, mas sim substituí-las pelo conceito científico.

7 CONCLUSÃO

Com o levantamento bibliográfico sobre concepções alternativas no conteúdo de ligações químicas dos alunos de ensino médio, foi possível analisar os quatro livros indicados pelo PNLD-2015, através da metodologia de Bardin.

Conclui-se que todos os livros didáticos apresentaram induções a concepções alternativas: alguns em mais quantidade, como o livro L3 (Química Cidadã do autor Wildson Pereira dos Santos, da editora AJS, 2.^a edição, ano 2013) e outros em menos quantidade, como o livro L2 (Química dos autores Eduardo Mortimer e Andréa Machado, da editora Scipione, 2.^a edição, ano 2013). Assim, pela investigação realizada, dá-se a entender que estes autores, Mortimer e Machado, analisaram as concepções alternativas a respeito da ligação química, tentando evitar que o seu livro as ocasionassem ou as reforçassem.

Porém, todos os livros apresentaram alguns pontos negativos no que se refere à abordagem do conteúdo, pois não explicar com clareza e na sua plenitude o conteúdo prejudica o aprendizado, podendo induzir às concepções alternativas. Assim, é fundamental a importância do professor em conhecer as concepções alternativas que os alunos podem ter e as concepções a que o livro induz, ministrando uma aula voltada não só para evitá-las, mas sim substituí-las pelo conceito científico.

8 ETAPAS FUTURAS

Os trabalhos que poderão ser feitos para dar continuidade a este estudo são:

– Realizar uma análise das concepções alternativas, sobre o conteúdo de ligações químicas, apresentadas pelos alunos do ensino médio da escola pública e privada. Analisar como é realizada a utilização do livro didático nessas duas realidades e se o professor ministra sua aula voltado a minimizar as dificuldades de aprendizado. Comparar os resultados e verificar se há diferença, principalmente, pela utilização do livro didático.

– Criar e adaptar novas estratégias didáticas na elaboração dos livros didáticos acerca das ligações químicas, a fim de minimizar as induções a concepções alternativas e melhorar o processo de ensino-aprendizagem.

– Realizar um estudo de caso investigando se os livros didáticos do PNLD 2015 induzem as concepções alternativas apresentadas neste trabalho, utilizando um questionário, fazendo uma abordagem qualitativa, expressando graficamente estes resultados.

REFERÊNCIAS

- ACAR, B. Y TARHAN, L. (2008) Effects of cooperative learning on students' understanding of metallic bonding. **Research in Science Education**, 38(4), pp. 401-420.
- ANDRADE, BEATRICE L. DE; ZYLBERSZTAJN, ARDEN; FERRARI, NADIR. (2002) As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Ensaio – pesquisa em educação em ciências**. v. 2, n. 2.
- ARROIO, AGNALDO. (2006) Concepções alternativas como barreiras no aprendizado de ciências. **Revista eletrônica de ciências**. Faculdade de Educação - USP, número 31, fevereiro. Disponível em: <http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_31/educacao.html>. Acesso em: 15/05/2015.
- ATKINS, P. Y JONES, L. (2006). **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman.
- BACHELARD, GASTÓN. (1991) **A Filosofia do Não: filosofia do novo espírito científico**. Trad. Joaquim José Moura Ramos. 5. ed. Lisboa: Editorial Presença.
- BACHELARD, GASTÓN. (1996) **A formação do espírito científico – Contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. 2ª reimpressão. Ed. Contraponto, Rio de Janeiro.
- BARKER, V. e MILLAR, R. (2000) Students's reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: What changes occur during a context-based post-16 chemistry course?. **International Journal of Science Education** v. 22, p. 1171-1200.
- BEN-ZVI, R.; EYLON, B.S. e SILBERSTEIN, J. (1987) Students' visualisation of a chemical reaction. **Education in Chemistry**, v. 24, n. 4, p. 117-120.
- BIRK, J.P. e KURTZ, M.J. (1999) Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. **Journal of Chemical Education**, v. 76, p. 124-128.
- BLANCO, A. e PRIETO, T. (1996) Algunas cuestiones sobre la comprensión de la Química desde la perspectiva de las "ideas de los alumnos". **Investigación em la Escuela**, n. 28, p. 69-78.
- BODNER, G.M. (1991) I have found you an argument. **Journal of Chemical Education**, v. 68, p. 385-388.
- BOO, H.K. (1998) Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, p. 569-581.

- BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA DA EDUCAÇÃO MÉDIA E TECNOLÓGICA. (2002) **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC.
- COLL, R. K. Y TAYLOR, N. (2001) Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students. **Research in Science & Technological Education**, 19(2) pp. 171-191.
- COLL, R. K. Y TREAGUST, D. F. (2003). Learners' mental models of metallic bonding: a cross-age study. **Science Education**, 87(5), pp. 685-707.
- CORACINI, Maria J. R. F. (1991) **A metáfora no discurso científico: expressão de subjetividade?** In: Um fazer persuasivo: o discurso subjetivo da ciência. São Paulo/BRA: EDUC; Campinas/BRA: Pontes, p.133-147.
- FERNANDEZ, C; e MARCONDES, M. E; (2006) Concepções dos estudantes sobre Ligação Química. **Química Nova na Escola**, v. 24, p. 20-24.
- FURIÓ, C. e CALATAYUD, M.L. Difficulties with the geometry and polarity of molecules: Beyond misconceptions. **Journal of Chemical Education**, v. 73, p. 36-41, 1996.
- GRIFFITHS, A.K. e PRESTON, K.R. (1992) Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, p. 611-628.
- HAPKIEWICZ, A. (1991) Clarifying chemical bonding: Overcoming our misconceptions. **The Science Teacher**, v. 58, n. 3, p.24-27.
- HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. (1996) Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. **Science Education**, v. 80, p. 509-534.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983) **Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness**. Cambridge,UK: Cambridge U.P.
- MORTIMER, EDUARDO FLEURY; MACHADO, HORTA ANDRÉA. (2013) **Química**. 2ª Edição. São Paulo: Scipione.
- MORTIMER, E.F.; MOL, G. e DUARTE, L.P. (1994) Regra do octeto e teoria da ligação química no Ensino Médio: Dogma ou ciência? **Química Nova**, v. 17, p. 243-252.
- MULFORD, D.R. e ROBINSON, W.R. (2002) An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students **Journal of Chemical Education**, v. 79, p.739-744.
- NICOLL, G. A (2001) Report of undergraduates' bonding misconceptions. **International Journal of Science Education**, v. 23, p. 707-730.

- PETERSON, R.F. e TREAGUST, D.F. (1989) Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. **Journal of Chemical Education**, v. 66, p. 459-460.
- PETERSON, R.F.; TREAGUST, D.F. e GARNETT, P. (1989) Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 26, p. 301-314.
- SANTOS, FERNANDA MARSARO DOS (2012) Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. Resenha de: [BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011, 229p.] **Revista Eletrônica de Educação**. São Carlos, SP: UFSCar, v.6, no. 1, p.383-387, maio. Disponível em: <<http://www.reveduc.ufscar.br>>. Acesso em: 23/04/2015.
- SANTOS, M.E.V.M. (2001) **A cidadania na “voz” dos materiais escolares**. Lisboa: Livros horizontes, 370 p.
- SANTOS, WILDSON PEREIRA DOS. (2013) **Química Cidadã**. 2ª Edição. São Paulo: AJS.
- STADLER, J.P; HUSSEIN, F.R.G.S; GEBARA, M.J.F; SOUSA JUNIOR, F.S. (2012) Análise de obstáculos epistemológicos em livros didáticos de química do ensino médio do PNLD 2012. **Holos**, ano 28, v. 2, p. 3.
- TABER, K.S.(1994) Misunderstanding the ionic bond. **Education in Chemistry**, v. 31, n. 4, p. 100-102.
- TABER, K.S. (1998) An alternative conceptual framework from chemistry education. **International Journal of Science Education**, v. 20, p. 597-608.
- TAN, K.C.D. e TREAGUST, D.F. (1999) Evaluating students' understanding of chemical bonding. **School Science Review**, v.81, n. 294, p. 75-83.
- TEICHERT, M.A. e STACY, A.M. (2002) Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. **Journal of Research in Science Teaching**, v.39, p. 464-496.