



LIGAÇÕES ENTRE METAIS: REFLEXÕES A PARTIR DOS MODELOS EMPREGADOS EM LIVROS DIDÁTICOS BRASILEIROS DE QUÍMICA

Wilmo Ernesto Francisco Junior¹, Welington Francisco², Erivaldo Vieira da Silva³

Resumo

Este trabalho se propôs a investigar como os modelos de ligação metálica são apresentados por livros didáticos de química aprovados pelo PNLD 2015. A pesquisa foi de natureza qualitativa e seguiu princípios da análise de conteúdo. A análise ocorreu com base em quatro critérios gerais: modelo empregado (clássico, quântico ou ambos); tipo de abordagem (sobre a formação da ligação, estrutura dos metais ou ambas); modos de representação e; limitações. Os resultados demonstraram que os livros valorizam o emprego do modelo dos elétrons deslocalizados como princípio explicativo da formação ligação metálica. Diferentes modos de representação puderam ser observados, mas dificilmente se verificou a combinação do modelo estrutural com o modelo de formação para a ligação. O foco na interação eletrostática como princípio da ligação química é pouco explorado. Limitações dos modelos representados, entre elas a discrepância entre a quantidade e tamanho dos elétrons são omitidas.

Palavras chave

Ligação metálica; Modelos; Livros didáticos.

METALLIC CHEMICAL BOND: REFLECTIONS FROM MODELS PRESENTED IN BRAZILIAN CHEMISTRY TEXTBOOKS

Abstract

This paper aims to investigate aspects of metallic bonding models presented in the chemistry textbooks approved by PNLD. The research was qualitative and was based on principles of content analysis. The analysis considered four basic principles: model employed (classical, quantum or both); approach (about formation of bonds, metallic structure or both); modes of representation and; limitations. The results showed that the books employ the delocalized electron model as an explanatory principle of the metallic bonding. Different modes of representation could be observed. However, the combination of the structural model and the explanatory model in order to explain the metallic bond was not observed. The focus on electrostatic interaction as a principle of chemical bonding is little explored. Limitations of the representations, such as the discrepancy between the quantity and size of the electrons are not discussed.

Keywords

Metallic bonding, Models, Textbooks.

¹ Bacharel/licenciado em Química pelo Instituto de Química da UNESP de Araraquara, mestre em Biotecnologia pelo IQ-UNESP e em Educação (Metodologia de Ensino) pela UFSCar, doutor em Química (tese em Educação Química) pelo IQ-UNESP. Professor da Universidade Federal de Alagoas/UFAL/Brasil. Correo: wilmojr@bol.com.br

² Bacharel/licenciado e Mestre em Química pelo Instituto de Química da UNESP de Araraquara. Doutor em Educação Química pela Universidade Federal de Goiás. Professor da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) em Foz do Iguaçu/Brasil.

³ Licenciado em Ciências Biológicas com Especialização em Ensino de Biologia, ambos pela Universidade de Pernambuco/UPE. Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Alagoas/UFAL. Professor do quadro efetivo da Prefeitura Municipal de Garanhuns/PE/Brasil.

Introdução

Os livros didáticos (LD) têm um importante papel no desenvolvimento da educação escolar, tanto pelo armazenamento de conhecimentos quanto por seu apoio didático-pedagógico. Assim, configuram-se como uma das principais referências utilizadas pelos professores para a organização das atividades e para consulta.

No Brasil, os LD têm papel relevante em função do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). O PNLD seleciona e disponibiliza obras gratuitamente a todos estudantes da Educação Básica pública, desde os anos iniciais do ensino fundamental, ao Ensino Médio, incluindo a Educação de Jovens e Adultos (EJA). Em 2019 foram distribuídos mais de 126 milhões de exemplares de livros. No último triênio o investimento alcançou cifras da ordem de R\$ 1.219.660.919,99 (um bilhão, duzentos e dezenove milhões, seiscentos e sessenta mil e novecentos e dezenove reais e noventa e nove centavos) (FNDE, 2015). A intensificação dos trabalhos de pesquisa com livros didáticos, a abrangência do PNLD, bem como a ampliação da área de pesquisa em ensino de ciências, de química em particular, têm conduzido a debates e mudanças significativas nestes materiais.

Considerando a química como uma ciência que lida constantemente com o intangível e que se materializa em modelos teóricos sobre a matéria, um dos temas de investigação que merece destaque no âmbito dos é o uso e abordagem dos modelos explicativos para os conceitos químicos. Um modelo é entendido como a representação de algo (objeto, processo, evento, sistema ou ideia) e se origina de uma atividade mental que visa se aproximar da realidade, sendo a principal ferramenta usada pelos cientistas para produzir conhecimento e um dos principais produtos da ciência (Justi, 2006). Assim, o ensino de química torna-se exigente de uma modelização em nível mental para que ocorra sua assimilação. Para Chittleborough e Treagust (2009), existem dois aspectos dos modelos que seriam importantes: i) o modo em que são utilizados como uma ferramenta explicativa de conceitos e; ii) o destaque a seus propósitos e limitações. Os mesmos autores sugerem que os modelos funcionam como ferramenta descritiva e explicativa da ciência, além de permitirem testar ideias, fazer previsões e formular hipóteses. Para Coll e Treagust (2003), os modelos influenciam o funcionamento cognitivo e permitem estruturar conceitualmente o conhecimento. Considerando que o trabalho com modelos é parte intrínseca do conhecimento químico, desconsiderá-los no processo de ensino implica em reduzir a química a descrições de propriedades e modificações macroscópicas. Nesses termos, é fundamental que os modelos sejam centrais na abordagem pedagógica, em virtude de a aprendizagem em química estar correlacionada com a abstração de conceitos envolvendo a realidade, mas que não são percebidos facilmente por estudantes (Talanquer, 2011).

Na busca de favorecer o processo de aprendizagem, tanto professores como materiais instrucionais apresentam modelos (ora tidos como modelos de ensino), que embora estejam em íntima relação ao modelo científico, configuram-se por uma simplificação produzida especificamente com o intuito de auxiliar a compreensão de algum aspecto do conteúdo que se deseja ensinar (Gilbert, Boulter e Elmer, 2000). O próprio modelo científico é uma simplificação de um fenômeno almejando explorá-lo ou explicá-lo (Gilbert, Boulter e Elmer, 2000). Quando introduzidos no currículo escolar os modelos científicos podem ser denominados de escolares ou curriculares. Dentro dessa perspectiva, é salutar apontar que os modelos passam por um processo de adaptações e simplificações desde sua elaboração até a efetiva inclusão na sala de aula. Tal processo envolve, dentre outras questões, a omissão

de algo que se julga não pertinente aquele contexto, ou adaptações, visando torná-los aptos ou adequados ao nível de ensino em que se pretende atuar. Por outro lado, muitas vezes este processo pode afastar o modelo de ensino da ideia original. Este é justamente o caso do modelo clássico ou particulado da ligação metálica, originalmente concebido como modelo de “gás de elétrons” (Drude, 1900), mas cuja adaptação o transformou em modelo de “mar de elétrons”.

Na compreensão do mundo químico os modelos de ligações assumem papel estruturante, uma vez que as ligações estão diretamente relacionadas às propriedades e transformações da matéria (Croft e Berg, 2014). Particularmente neste estudo é destacado o modelo de ligação metálica, que pode auxiliar a construção de sentidos na aprendizagem e na compreensão da aplicação dos metais no cotidiano, servindo de base para conhecimentos posteriores (Cheng e Gilbert, 2014). Sua compreensão é desenvolvida com base em diferentes modelos, desde os clássicos (baseado na natureza particulada da matéria) aos que empregam conceitos da mecânica quântica. Todavia, assim como outros estudos (Gillespie et al., 1996, Taber e Coll, 2002), acredita-se que o modelo clássico da ligação metálica seja satisfatório no nível básico de ensino, permitindo justificar qualitativamente as principais propriedades dos metais (maleabilidade, ductibilidade, condução eletrônica e térmica).

Sob esse ponto de vista, o propósito deste trabalho foi investigar como os modelos de ligação metálica são apresentados por livros didáticos de química aprovados pelo PNLD, tendo como base a seguinte questão de pesquisa: Que características das ligações entre os metais são favorecidas a partir dos modelos apresentados nos livros?

Metodologia

O presente estudo é de natureza qualitativa, tendo como objeto de investigação as quatro coleções dos Livros Didáticos de Química destinadas ao Ensino Médio aprovadas pelo PNLD 2015, conforme Tabela 1. As coleções receberam aleatoriamente os códigos de L1 a L4 em sua descrição no texto.

Livro	Autores	Editora	Ano	Código
Química	Martha Reis	Ática	2013	L1
Química	Andréa Horta Machado Eduardo Fleury Mortimer	Scipione	2013	L2
Química Cidadã	Wildson Santos (Coord.) Gerson Mól (Coord.)	AJS	2013	L3
Ser protagonista – Química	Murilo Tissoni Antunes	SM Edições	2013	L4

Tabela 1. Dados dos livros analisados.

A avaliação dos livros seguiu os critérios da análise de conteúdo (Bardin, 2011), composto pelas seguintes etapas:

- (i) Pré-análise: leitura do conteúdo de ligação metálica do livro didático;
- (ii) Leitura orientada: identificação das abordagens de ensino utilizadas pelas obras para apresentar e discutir o conceito de ligação metálica, propriedades e aplicações dos metais, bem como suas estratégias de ensino.
- (iii) Elaboração de indicadores: categorização dos resultados com cotejamento teórico de artigos e livros especializados na temática abordada deste trabalho.

- (iv) Decomposição e reagrupamento do conteúdo: foi realizada a decomposição das estruturas textuais e visuais (imagens) de forma a reagrupá-las em estruturas analíticas.

A partir de tais etapas, foi possível depreender as principais características dos modelos apresentados por cada obra. O tópico em questão foi localizado no volume 1 de todas as obras, sendo este avaliado a partir dos seguintes critérios: tipo de modelo empregado para explicar a ligação metálica (clássico, quântico ou ambos); natureza da abordagem pedagógica da ligação (abordagem sobre a formação, a estrutura metálica ou ambas); modos de representação (figuras da dimensão atômica, esquemas, diagramas, fluxogramas, etc) e; discussão de limitações. Os dados foram apresentados de forma descritiva, sendo analisados com base nos elementos teóricos sobre os conceitos químicos envolvidos, bem como em outras investigações sobre o tema reportadas na literatura.

Resultados e Discussão

A análise inicial dos livros demonstrou a prevalência do modelo clássico para a ligação metálica, no qual a explicação é estruturada com base nos elétrons de valência que se movimentariam livremente pela estrutura do metal. Os livros também destacam a formação dos cátions em função da liberação dos elétrons.

“(…) existem íons positivos, distribuídos na rede cristalina, imersos num “gás” de elétrons, que não se encontram firmemente ligados a nenhum núcleo” (L2, p. 298).

“(…) há uma grande quantidade de elétrons movimentando-se livremente entre átomos com cargas positivas. São os elétrons livres ao redor dos átomos positivos que mantêm a sua coesão” (L3, p. 254).

Não obstante a existência de modelos mais sofisticados calcados na mecânica quântica, pode-se admitir, conforme apontam Taber e Coll (2002), que para uma abordagem introdutória tal modelo é satisfatório. Além disso, o modelo clássico permite explicar propriedades mecânicas dos metais (maleabilidade, ductibilidade) cuja abordagem pautada na mecânica quântica não permite. Nessa direção, mesmo que não se explique satisfatoriamente os aspectos quantitativos da condutividade elétrica e térmica ou o magnetismo dos metais, ainda é possível uma discussão qualitativa com base neste modelo, tornando sua aplicabilidade satisfatória para a educação básica. Tal assertiva também é pautada na dificuldade em se apresentar um modelo quântico para o nível médio que não incorra em excessivas simplificações, especialmente em função do conceito de orbitais atômicos, conceito que exige um elevado grau de abstração, mas cuja abordagem pedagógica, em geral, omite a razão das formas e energia dos orbitais, levando os estudantes a simples memorizações (Gillespie, Spencer e Moog, 1996). Ademais, é um tópico que permite a importante discussão sobre a coexistência de modelos e explicações científicas para um mesmo fenômeno.

Mais importante é que as ligações químicas e, particularmente as ligações entre os metais, sejam compreendidas em suas duas dimensões (Cheng e Oon, 2016). Uma delas relaciona-se à formação e, mais propriamente, ao que é de fato a ligação. Essa dimensão está intimamente ligada a um modelo teórico explicativo que considere a energia e a força de atração entre os átomos. Por sua vez, o agregado de átomos unidos mediante a ligação resulta numa estrutura específica, derivada da organização destes átomos no espaço.

No caso dos metais, tal organização resulta majoritariamente em cristais (à exceção do mercúrio que é líquido). No entanto, nota-se que a abordagem estrutural dos metais é pouco evidente (Tabela 2).

Livros	Modelo estrutural (cristalino)		Modelo de elétrons deslocalizados	
	Sim/Não	Representação	Sim/Não	Representação
L1	Sim	Sim	Sim	Não
L2	Sim	Não	Sim	Sim
L3	Não	Não	Sim	Sim
L4	Sim	Não	Sim	Sim

Tabela 2. Tipos de modelos e abordagem apresentada nas obras para o conceito de ligações metálicas.

Embora três dos quatro livros mencionem que os sólidos metálicos originam estruturas cristalinas, o Livro 1 foi o único a exibir modelos de células unitárias para destacar que os metais são compostos cristalinos (Figura 1).

Tendo em vista que a compreensão da ligação entre os metais pressupõe também compreender a estrutura resultante, apenas citar a existência do retículo cristalino sem o uso dos modelos representacionais pode ser insuficiente para que os leitores percebam as interconexões entre a formação da ligação e os conceitos de ligação química e as estruturas delas derivadas. Esta estrutura é fundamental para uma das principais aplicações dos metais, as ligas metálicas em sistemas que exigem resistência mecânica. Todavia, vale assinalar que tal modelo de células unitárias se configura em uma representação esquemática com signos normalizados, mais abstrata e que necessita de maior conhecimento específico. De acordo com os resultados apresentados por Pazinato et al. (2016), é bastante frequente os LD apresentarem esse tipo de iconicidade. Entretanto, é fundamental um processo que considere a leitura e interpretação destes modelos, seja pelo livro (fato que não se verificou) ou pelo professor.

Já em termos do modelo explicativo, todos os livros empregam o modelo de elétrons deslocalizados (foco na formação da ligação metálica), no qual os cátions dos átomos estariam imersos em meio aos elétrons em movimento. Dentre as formas de apresentação do modelo, somente o L1 não utiliza representação do modelo acerca da dimensão atômica, optando em descrever o processo por meio de um fluxograma esquemático (Figura 2).

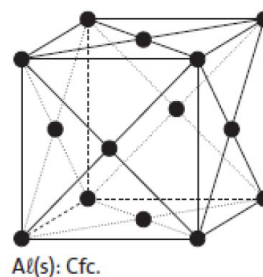
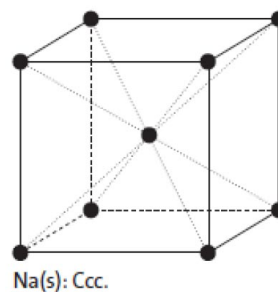


Figura 1. Modelos de células unitárias representando os metais (Livro 1, p. 304).

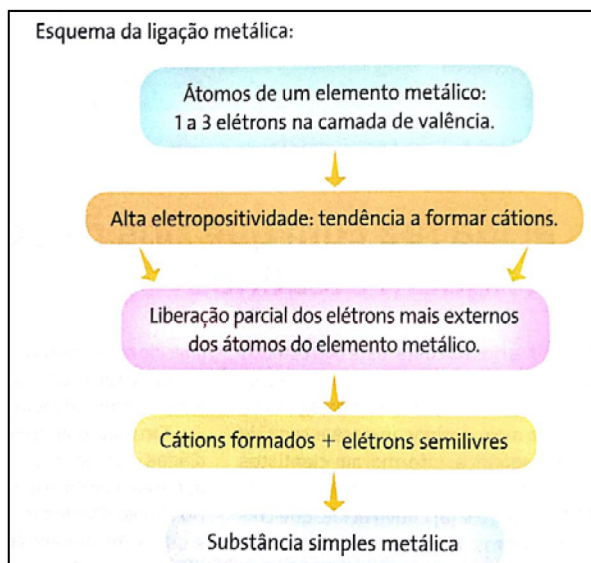


Figura 2. Fluxograma empregado pelo Livro 1 como ferramenta explicativa do processo de formação da ligação.

Este tipo de representação é classificada como esquemática, pois valoriza as representações das relações sem se importar com os detalhes. O L1 busca dar uma funcionalidade sintática porque contém elementos que exigem o conhecimento sobre a ligação metálica (Pazinato et al., 2016). As setas indicam que a representação é de um processo, todavia, é uma descrição que não acrescenta o conteúdo científico que sustenta a imagem. Além disso, aborda aspectos inobserváveis (camada de valência, cátions, elétrons, eletropositividade) de elevada abstração e “carga cognitiva”. Isso implica em dificuldades de leitura da imagem e processamento da informação (Coutinho, Soares e Braga, 2010), exigindo do professor uma atenção para os subsídios necessários à interpretação.

As outras três obras buscaram dar destaque à ligação metálica empregando figuras dos modelos particulados da matéria. Também é dado destaque a formação dos cátions, ora imerso numa “nuvem eletrônica” ora em “mar de elétrons” (Figura 3). Para Pazinato et al. (2016), estes tipos de modelos exigem interpretação de simbologias específicas, bem como o desenvolvimento da capacidade de abstração, auxiliando a transição entre os níveis de representação da matéria. Nessa direção, as representações funcionam como estruturadores do pensamento, colaborando com a aprendizagem. Logo, é importante que o professor também faça uso das representações que são a conexão entre as dimensões atômico-molecular e fenomenológica da química, fundamentais para a compreensão dessa ciência (Talanquer, 2011). Todavia, cuidados com as limitações (discutidas a seguir) devem se fazer presentes.

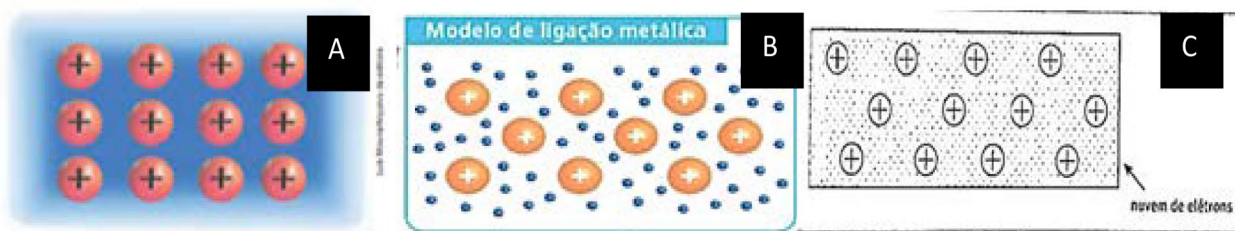


Figura 3. Representações apresentadas pelos Livros 2 (A), 3(B) e 4 (C) para o modelo de ligação metálica.

Ao descrever o modelo, os livros empregam diferentes terminologias. O L2, por exemplo, apresenta que o modelo se baseia em “íons positivos, distribuídos na rede cristalina, imersos num gás de elétrons, que não se encontram firmemente ligados a nenhum núcleo” (L2, p. 298, grifos dos autores). Já o Livro 4 adota o termo “mar de elétrons”.

As principais características dos metais podem ser explicadas por esse modelo, no qual cátions dos elementos metálicos estão dispostos em um retículo cristalino e elétrons circulam livremente entre eles. Esse modelo de ligação é conhecido como modelo do “**mar de elétrons**”, pois os cátions metálicos estão imersos nos elétrons livres (L4, p. 151, grifos dos autores).

Este modelo foi originalmente apresentado pelo alemão Paul Drude (1863-1906) que utilizou o termo gás de elétrons. A escolha do termo não foi arbitrária, uma vez que Drude propôs uma analogia baseada no modelo cinético dos gases. Em outras palavras, os elétrons se comportariam na estrutura dos metais como partículas de um gás ideal, movimentando-se linearmente, de forma irregular, em ziguezague e sem interação uns com os outros. Drude (1900) chegou a aplicar o modelo matemático dos gases ideais para tentar explicar a condutividade elétrica e térmica dos metais. Contudo, as teorias de ligação metálicas são apresentadas nos livros sem menção acerca de quais problemas científicos ou pessoas perpassaram seu desenvolvimento. A abordagem é de caráter a-histórico e a-pessoal. Outro ponto que surge obviamente é a origem do termo “mar de elétrons”, uma vez que tal expressão não é mencionada nos artigos de Drude.

No modelo clássico, núcleo e elétrons seriam mutuamente atraídos mantendo-se os átomos unidos na estrutura metálica. Entretanto, apesar dos modelos desempenharem uma função didática para o ensino na formulação do conhecimento, em nenhuma obra é enfatizado o papel das interações eletrostáticas entre os cátions e elétrons como sendo a própria ligação química responsável pela estabilidade na rede cristalina. Cheng e Gilbert (2014) postulam que uma das dificuldades enfrentadas pelos estudantes é entender, a partir do modelo particulado, as forças eletrostáticas que são intangíveis. Embora o Livro 3 mencione que: São os elétrons livres ao redor dos átomos positivos que mantêm a sua coesão” (p. 254), não é explicitado que esta força de atração seria a ligação química. O uso da analogia “mar de elétrons” pode originar comparações indiscriminadas e não contribui para a compreensão dos aspectos estruturais ou interacionais do modelo, sendo apontado por Carvalho e Justi (2005) como uma limitação da analogia e fonte de dificuldades de aprendizagem por parte dos estudantes. O “mar” de elétrons pode influenciar concepções sobre ligações, prejudicando a compreensão de aspectos importantes do conceito, especialmente as forças atrativas entre os cátions e elétrons na estrutura metálica, bem como o empacotamento em estruturas cristalinas tridimensionais (Carvalho e Justi, 2005). Diante disso, advoga-se que o termo é prejudicial à formação conceitual, sendo a analogia estabelecida originalmente como modelo de gás de elétrons a melhor opção para o modelo, concatenando-se os aspectos estruturais com a força eletrostática.

Pesquisas conduzidas vêm demonstrando que um dos principais problemas de compreensão das ligações químicas de um modo geral e dos metais em particular são justamente a existência das forças atrativas (Karpin, Juuti e Lavonen, 2014). Nem estudantes nem autores de livro destacam os aspectos dos modelos estruturais e do processo interacional da ligação metálica. De tal maneira, emergem dificuldades para o entendimento de aspectos da estrutura metálica, dentre elas: i) o movimento dos elétrons

na estrutura e a natureza da condutividade elétrica; ii) a força que mantém os átomos unidos; iii) a regularidade de disposição dos átomos e; iv) a dimensão dos elétrons em comparação aos átomos (Posada, 1997). Para Cheng e Oon (2016), a atração eletrostática é primordial para a compreensão da ligação química. Além disso, pode ser útil na compreensão das propriedades de condutividade e maleabilidade que estão bem presentes nos materiais metálicos. De tal forma, uma abordagem que nem valorize a estrutura e nem as interações não permite uma interpretação satisfatória das propriedades da matéria a partir da dimensão atômico-molecular (Croft e Berg, 2014).

É importante que o modelo de ligação metálica seja uma ferramenta para se pensar nas propriedades dos metais. Cheng e Gilbert (2014), por exemplo, assinalam a importância dos estudantes em desenvolverem a habilidade de visualizar mentalmente a interação dos elétrons deslocalizados e cátions metálicos quando ocorre uma tensão mecânica, podendo assim “ver” mentalmente os processos. Contudo, Salas-Banuet e Ramírez-Vieyra (2010) argumentam que mesmo os livros universitários introdutórios de química apresentam os modelos de ligações: i) como generalizações simplificadas, sem assinalar seus limites; ii) como verdades inquestionáveis; iii) com pouco destaque a criatividade e as motivações de sua construção e; iv) sem relação com as aplicações e com aspectos da vida cotidiana. Estes mesmos autores ainda chamam a atenção para o caráter híbrido que existe nas ligações químicas. Assim como não existem ligações “puramente” iônicas ou covalentes, não há ligações “puramente” metálicas, sendo a eletronegatividade uma propriedade fundamental para a compreensão das características de cada ligação. Portanto, pensar com base nos modelos seria um caminho para entender melhor o que se conhece, o que se acredita conhecer e, inclusive, questionar as limitações.

No que tange às limitações, as representações apresentadas pelos livros (Figura 3) permitem inferir que os modelos carecem da explicitação de suas limitações. A quantidade de elétrons representada é “superestimada” pelos modelos apresentados nos livros didáticos (L3 e L4), uma vez que os elétrons que se movimentariam livremente seriam os elétrons de valência. Além disso, a dimensão dos elétrons em comparação aos cátions seria outra limitação não discutida, pois o tamanho também é superestimado.

O reconhecimento dos limites dos modelos empregados na ciência é fundamental na aprendizagem científica, inclusive como forma de se problematizar sua transitoriedade e representação próxima da realidade (Justi, 2006). Solbes e Vilches (1991) também reportaram que a discussão de limitações dos modelos de ligações químicas não é frequente em livros didáticos. Logo, é importante para o professor analisar criticamente tal aspecto. Segundo Justi (2006), os programas de formação docente têm papel central no desenvolvimento de visões contemporâneas de ensino, entre elas a abordagem dos modelos. Uma das alternativas seria, inclusive, a análise crítica de materiais pedagógicos, favorecendo (re)pensar inclusive as práticas pedagógicas com a preocupação, no caso do conceito de ligação metálica, dos professores desenvolverem modelos de ensino que tornem o conteúdo mais adequado ao nível dos estudantes. Isso trará alternativas para contornar as dificuldades de aprendizagem apresentadas pelas pesquisas como: a formação do arranjo tridimensional dos cátions; a existência de forças atrativas entre cátions e elétrons como responsável pela união dos mesmos e estabilidade da estrutura (Carvalho e Justi, 2005); a explicação das propriedades dos metais, como condutividade elétrica e térmica, apoiando-se nos modelos da ligação; associação que a ligação metálica é um tipo de ligação iônica ou a própria ligação iônica (Ferreira, Campos e Fernandes, 2013).

Considerações finais

Conforme os resultados, pode-se notar que os livros valorizam o emprego do modelo dos elétrons deslocalizados como princípio explicativo da ligação metálica. Diferentes modos de representação puderam ser observados, mas dificilmente se verificou a combinação do modelo estrutural com o modelo explicativo para a ligação. As representações analisadas, por seu turno, possuem limitações, tanto nos aspectos visuais quanto na forma de abordagem, não levando em consideração os aspectos que envolvem as forças de interação eletrostática. O foco na interação eletrostática como princípio da ligação química é pouco explorado. Limitações dos modelos representados, entre elas a discrepância entre a quantidade e tamanho dos elétrons são omitidas. Nesse sentido, os resultados dessa pesquisa mostram que mesmo não havendo propriamente erros conceituais, é preciso se atentar as duas dimensões importantes do ensino das ligações, a questão estrutural e a formação da ligação, bem como com as limitações das representações que os LD empregam, uma vez que a compreensão sobre as ligações metálicas pode ser prejudicada com limitações dos modelos de ensino.

Referências

- Bardin, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.
- Carvalho, N. B. e Justi, R. (2005). Papel da analogia do “mar de elétrons” na compreensão do modelo de ligação metálica. *Enseñanza de las Ciencias*, n. extra, 1-4.
- Cheng, M. M. W. e Gilbert, J. K. (2014). Students’ visualization of metallic bonding and the malleability of metals. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1373-1407.
- Cheng, M. M. W. e Oon, P. T. (2016). Understanding metallic bonding: Structure, process and interaction by Rasch analysis, *International Journal of Science Education*, 38(12), 1923-1944.
- Chittleborough, G. D. e Treagust, D. (2009). Why models are advantageous to learning science. *Educación Química*, 20(1), 22-17.
- Coll, R. K. e Treagust, D. F. (2003). Learners’ mental models of metallic bonding: a cross-age study. *Science Education*, 87(5), 685-707.
- Coutinho, F. A.; Soares, A. G. e Braga, S. A. M. (2010). Análise do valor didático de imagens presentes em livros de Biologia para o ensino médio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(3), 153-172.
- Croft, M. e Berg, K. (2014). From common sense concepts to scientifically conditioned concepts of chemical bonding: an historical and textbook approach designed to address learning and teaching issues at the secondary school level. *Science & Education*, 23(9), 1733-1761.
- Drude, P. (1900). Zur Elektronentheorie der Metalle II. Teil, Galvanomagnetische und thermomagnetische Effecte. *Annalen der Physik*, 308(11), 369-402.
- Ferreira, I. M.; Campos, A. F. e Fernandes, L. S. (2013). Concepções alternativas dos alunos sobre ligação metálica. *Enseñanza de las Ciencias*, n. extra, 2403-2408.
- FNDE (2015). *Dados estatísticos do PNLD*.
- Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-dados-estatisticos>. Acesso em 20 de março de 2019.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., and Elmer, R. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In: J. K. Gilbert and C. J. Boulter (Eds.). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Springer, 2000, pp. 3-17.

- Gillespie, R. J., Spencer, J. N., & Moog, R. S. (1996). Demystifying introductory chemistry, Part 2: Bonding and molecular geometry without orbitals - The electron domain model. *Journal of Chemical Education*, 73(7), 622-627.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Justi, R. (2012). Learning how to model in Science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. *Educación Química*, 20(1), 32-40.
- Karpin, T., Juuti, K. e Lavoven, J. (2014). Learning to apply models of materials while explaining their properties. *Research in Science & Technological Education*, 32(3), 37-41.
- Pazinato, M. S.; Braibante, M. E. F.; Miranda, A. C. G. e Freitas, R. T. G. (2016). Análise dos recursos visuais utilizados no capítulo de ligações químicas dos livros didáticos do PNLD 2015. *Acta Scientiae*, 18(1), 121-144.
- Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution. *Science Education*, 81(4), 445-467.
- Salas-Bannuet, G. e Ramírez-Vyeira, J. (2010). Iónico, covalente y metálico. *Educación Química*, 21(2), 118-125.
- Solbes, J. e Vilches, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 53-58, 1991.
- Taber, K. S. e Coll, R. K. (2002). Bonding. In: J. K. Gilbert et al. (Eds.), *Chemical Education: towards research-based practice*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 213-234.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.