

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**ERIVALDO VIEIRA DA SILVA**

**LIGAÇÃO METÁLICA E METAIS NOS LIVROS DE  
QUÍMICA APROVADOS PELO PNLD 2015**

**MACEIÓ – AL  
2017**

**ERIVALDO VIEIRA DA SILVA**

**LIGAÇÃO METÁLICA E METAIS NOS LIVROS DE  
QUÍMICA APROVADOS PELO PNLD 2015**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática - PPGECIM - do Centro de Educação - CEDU - da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Área de concentração: Ensino de Química.

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Wilmo Ernesto Francisco Junior.  
**COORIENTADOR:** Prof. Dr. Welington Francisco.

**MACEIÓ – AL  
2017**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

**Bibliotecária Responsável: Janis Christine Angelina Cavalcante**

S586l Silva, Erivaldo Vieira da.  
Ligação metálica e metais nos livros de química aprovados pelo PNLD 2015 / Erivaldo Vieira da Silva. – Maceió, AL, 2018.  
87f.: il.

Orientador: Wilmo Ernesto Francisco Júnior.  
Coorientador: Wellington Francisco.  
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) –  
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de  
Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Maceió, 2018.

Bibliografia: f. 83-87.

1. Ensino de química – Processo de ensino e aprendizagem. 2. Ligação metálica. 3. Livro de química do PNLD – Análise de conteúdo. I. Título.

CDU: 37.046.14:54

ERIVALDO VIEIRA DA SILVA

**LIGAÇÃO METÁLICA E METAIS NOS LIVROS DE QUÍMICA APROVADOS  
PELO PNLD 2015**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Subárea de Concentração “Ensino de Química”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 24 de novembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Wilmo Ernesto Francisco Júnior  
Orientador e Presidente  
(Campus Arapiraca; PPGECIM/CEDU/UFAL)



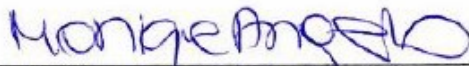
---

Prof. Dr. Welington Francisco  
Coorientador  
(UNILA)



---

Prof. Dr. Erivanildo Lopes da Silva  
(UFS)



---

Prof.ª Dr.ª Monique Gabriella Angelo da Silva  
(IQB; PPGECIM/CEDU/UFAL)

## **Dedicatória**

A minha família, especialmente à mulher que mais admiro, a minha mãe Elvira Ana da Silva, a minhas irmãs Eliane Elvira de Siqueira e Maria Elvira de Siqueira, a meu irmão Antônio Vieira da Silva. Por serem a base sólida da qual eu construo minha vida.

A Vanderléia Paes Siqueira e Arthur Victor Siqueira Vieira.

## AGRADECIMENTOS

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática/UFAL que contribuíram para minha formação dentro do programa, em especial:

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Anamelea de Campos Pinto e ao Prof. Dr. Elton Casado Fireman pelas aulas construtivas e por seus questionamentos, reflexões pedagógicas e sugestões durante o curso.

Ao Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho pelos diálogos filosóficos.

Agradeço aos colegas de turma por compartilharem comigo parte de suas experiências de vida pessoal e acadêmica, grupo Aprendizizes Mutantes (PPGECIM, 2015), os quais me receberam e fortalecemos laços de amizade.

Aos amigos externos ao PPGECIM, Almir Almeida, J. T. Santos, Adriana Valença e Luciana Ferreira pelo apoio durante esse percurso.

Ao professor e à professora da Banca Examinadora, Dr. Erivanildo Lopes da Silva, da Universidade Federal de Sergipe, e a Dr.<sup>a</sup> Monique Gabriella Ângelo da Silva, da Universidade Federal de Alagoas pela contribuição dada através dos riquíssimos questionamentos.

Ao meu coorientador, professor Dr. Welington Francisco, UNILA, pelas contribuições prestadas ao longo da produção deste trabalho.

Sobretudo, agradeço a meu orientador, professor Dr. Wilmo Ernesto Francisco Junior, não só por acreditar em mim nessa etapa importante da minha formação acadêmica, mas também principalmente pelo seu papel de extrema importância na formação de professores de Química, pelo acolhimento, paciência e orientações.

A Universidade Federal de Alagoas e ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática pela oportunidade de acrescentar na minha vida o maior de todos os produtos, o conhecimento.

A todos, o meu muito obrigado!

## RESUMO

A necessidade de educar sempre foi cultural, dessa forma o livro didático se tornou uma ferramenta que auxilia nesse processo. Ao longo do tempo, os livros sofreram modificações tanto na estrutura física, quanto na sua forma didático-pedagógica de apresentar os conteúdos, tornando-se um produto rentável. No Brasil o livro didático teve um histórico de grandes mudanças, desde a implantação do Instituto Nacional do Livro até o Plano Nacional do Livro Didático, regulando a distribuição e controle, e mais recentemente a avaliação. O livro didático de química é objeto de pesquisas em educação química, principalmente no que diz respeito às ligações químicas. Embora a ligação metálica seja pouco compreendida entre estudantes, ainda existem poucos estudos sobre essa temática, bem como o estudante percebe os metais e as ligas metálicas no cotidiano. O interesse na pesquisa em ensino de química ocorre tanto pela dificuldade que os estudantes demonstram ter, quanto pela necessidade de buscar novos meios para facilitar a aprendizagem e o ensino. Diferentes visões para entender como ocorre a aprendizagem dos estudantes são encontradas na literatura, divulgadas por revistas e linhas de pesquisas, recebendo atenção especial os estudos de Alex Johnstone, em que ganharam ênfase por abordar as dimensões fenomenológicas, atômico-molecular e teórico-representacional. Outros trabalhos como o de Peter Mahaffy incluem mais uma dimensão, sócio-histórica, formando assim um tetraedro para o ensino de química, esse tipo de conhecimento mostra como se dá a aprendizagem de química desde a década de 1980. Dessa forma esse trabalho teve um caráter qualitativo na análise do conteúdo de ligação metálica nos livros didáticos, observando e discutindo a presença das dimensões do conhecimento, assim, foi possível perceber o movimento que se faz ao apresentar um determinado conteúdo e quais as possíveis dificuldades que podem surgir ao se utilizar de imagens, modelos, fluxogramas, texto discursivo e tabelas, indicando que o ensino e a aprendizagem da ligação metálica são mais complexos do que se imagina. Os livros didáticos se utilizam da abordagem das dimensões do conhecimento, tais como fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional e sócio-histórica para expor os conteúdos, no entanto, são evidenciadas algumas dificuldades que podem aparecer quando o estudante entra em contato com esse tipo de abordagem. As limitações dos modelos não são abordadas em nenhum dos livros, o que pode levar o indivíduo a imaginar o modelo apresentado como sendo a realidade e não como representação.

**Palavras-chave:** Ensino de química, dimensões do conhecimento químico, análise de livro de química do PNLD, Ligação metálica.

## *ABSTRACT*

The need to educate has always been cultural, so the textbook has become a tool that aids in this process. Over time, the books have undergone modifications both in the physical structure and in their didactic-pedagogical form of presenting the contents, becoming a profitable product. In Brazil the textbook had a history of major changes, since the implantation of the National Institute of the book to the National Plan of the textbook, regulating distribution and control, and more recently the evaluation. The textbook of chemistry is the object of research in chemical education, especially as regards chemical bonds. Although the metallic bond is little understood between students, there are still few studies on this subject, as well as the student perceives metals and metal alloys in everyday life. The interest in research in chemistry teaching occurs as much for the difficulty that students demonstrate to have, as for the need to seek new ways to facilitate learning and teaching. Different visions to understand how students learning are found in the literature, disseminated by magazines and research lines, receiving special attention the studies of Alex Johnstone, in which they gained emphasis by addressing the dimensions phenomenological, Atomic-molecular and theoretical-representational. Other works like Peter Mahaffy, includes one more dimension, socio-historical, thus forming a tetrahedron for the teaching of chemistry, that kind of knowledge shows how to give chemistry learning since the decade of 1980. In this way this work had a qualitative character in the analysis of the metallic bond content in textbooks, observing and discussing the presence of the dimensions of knowledge, so it was possible to perceive the movement that is made when presenting a certain content and which the possible difficulties that may arise when using images, models, flowcharts, discursive text and tables, indicating that the teaching and learning of metallic connection are more complex than is imagined. Textbooks use the approach of the dimensions of knowledge, such as phenomenological, atomic-molecular, theoretical-representational and socio-historical expose the contents, however, are evidenced some difficulties that may appear when the student comes in contact with this kind of approach. The limitations of the models are not addressed in any of the books, which can lead the individual to imagine the model presented as being the reality and not as representation.

**Keywords:** Teaching chemistry, chemical knowledge dimensions, PNLD chemistry book analysis, metallic bonding.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Representação espacial de em uma célula unitária.....	26
<b>Figura 2</b> - Tipos de células cúbicas: (A) Cúbica Simples; (B) Cúbica de Corpo Centrado; (C) Cúbica de Face Centrada. ....	26
<b>Figura 3</b> - Níveis de aprendizagem.....	31
<b>Figura 4</b> - Proposta de educação química tetraédrica para ensino de química.....	36
<b>Figura 5</b> - Subcategorias que se distribuem a partir da dimensão sócio-histórica aos outros vértices.....	37
<b>Figura 6</b> - Localização do conteúdo e número total de páginas por obras analisadas.....	46
<b>Figura 7</b> - Utilização de imagem para representar a propriedade de maleabilidade .....	48
<b>Figura 8</b> - Utilização de imagem para citar condutibilidade elétrica dos metais.....	49
<b>Figura 9</b> - Imagem que enfatiza a condutibilidade elétrica em fios .....	50
<b>Figura 10</b> - Materiais presente em imagem que evidência um objeto formado a partir de uma liga metálica.....	50
<b>Figura 11</b> - Imagem de mercúrio, evidenciando o estado de agregação do metal.....	51
<b>Figura 12</b> - Utilização de fluxograma.....	54
<b>Figura 13</b> - Terminologias utilizadas pelos livros didáticos: Gás de elétrons (A), mar de elétrons (B), mar de elétrons ou nuvem de elétrons (C).....	55
<b>Figura 14</b> - Estrutura de células unitárias do sódio (CCC) e do alumínio (CFC) .....	58
<b>Figura 15</b> - Demonstração da ductibilidade no conteúdo de ligação metálica .....	59
<b>Figura 16</b> - Tabela contendo as propriedades e características dos metais por uma abordagem fenomenológica.....	65

<b>Figura 17</b> - Caixa de texto utilizada como recurso de destaque para questionamento (A) e definição de ligação metálica (B) .....	67
<b>Figura 18</b> - Tabela da energia de ionização usada no livro didático .....	68
<b>Figura 19</b> - Quadro de ligas metálicas apresentado no livro didático com porcentagem de massa e aplicação das ligas metálicas.....	69
<b>Figura 20</b> - Material produzido a partir da atividade humana em função do trabalho com objetivos específicos para a sociedade .....	73
<b>Figura 21</b> - Imagens do modelo cúbico de corpo centrado para a ligação metálica.....	78
<b>Figura 22</b> – Modelo de estrutura da ligação metálica. Forma cúbica de corpo centrado (A) e deslizamento dos planos da estrutura simulando a maleabilidade (B) .....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
AID	Agency for International Development
CCC	Cúbico de Corpo Centrado
CFC	Cúbico de Face Centrada
CNLD	Comissão Nacional do Livro Didático
COLTED	Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático
FAE	Fundação de Assistência ao Estudante
FENAME	Fundação Nacional do Material Escolar
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
IFES	Instituto Federal de Ensino Superior
LD	Livros Didáticos
MEC	Ministério da Educação e Cultura
PET	Polietileno tereftalato
PLIDEF	Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
SEB	Secretaria da Educação Básica

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	O LIVRO DIDÁTICO .....	18
2.1	Breve histórico sobre o livro didático no Brasil .....	18
2.2	O LD de ciências/química: importância, aspectos pedagógicos e pesquisas .....	21
3	OS SÓLIDOS METÁLICOS E A LIGAÇÃO METÁLICA: conceituação e dificuldades	25
4	DIMENSÕES DO CONHECIMENTO PARA O ENSINO DE QUÍMICA .....	31
4.1	Dimensão fenomenológica.....	32
4.2	Dimensão atômico-molecular .....	33
4.3	Dimensão teórico-representacional.....	33
4.4	Dimensão sócio-histórica.....	35
4.4.1	A química para o abastecimento da vida moderna.....	37
4.4.2	A química como suporte para o sistema do planeta.....	39
4.4.3	Produção química.....	39
4.4.4	Ver e compreender o mundo químico.....	41
4.4.5	Química para a vida .....	43
5	METODOLOGIA .....	44
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
6.1	Dimensão fenomenológica.....	47
6.2	Dimensão atômico-molecular .....	52
6.3	Dimensão teórico-representacional.....	62
6.4	Dimensão Sócio-histórica .....	70
7	APONTAMENTOS FINAIS .....	75
8	PRODUTO EDUCACIONAL .....	78
	REFERÊNCIAS .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

Os livros didáticos (LD) têm um importante papel no desenvolvimento do conhecimento do ser humano, tanto no armazenamento da informação quanto no desempenho didático-pedagógico de sua funcionalidade. Assim, o presente trabalho se constitui de uma investigação documental que tem como objeto de estudo o livro didático de Química, em edições que foram aprovadas pelo Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) do ano de 2015.

Os livros didáticos (LDs) se configuram como uma das principais referências utilizadas para a organização do currículo escolar pelos professores. Há casos em que os LDs podem ser a única fonte de consulta tanto do professor, para o planejamento de suas aulas, quanto dos estudantes para estudo, seja na escola ou em suas casas.

Em 2007, o PNLD passou a abarcar o Ensino Médio, fazendo com que o país se tornasse um dos maiores investidores e distribuidores desse tipo de material de forma gratuita para a população. 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). Dessa forma, o aspecto econômico e comercial vem elevando ainda mais a importância dos livros ao longo das últimas três décadas.

A intensificação dos trabalhos de pesquisa com livros didáticos, a abrangência do PNLD, bem como a ampliação da área de ensino de química conduziram a debates e a mudanças significativas nestes materiais. Porém, é preciso reconhecer que o livro não é capaz, nem mesmo tem a finalidade, de esgotar as possibilidades pedagógicas ou até mesmo inserir todos os aspectos considerados importantes para a aprendizagem. A partir desse ponto de vista, investigações que apontem aspectos positivos e negativos nos LD são capazes de assinalar aos professores a necessidade de incorporar novos elementos ou aproveitar aquilo que os autores propõem, ampliando as possibilidades pedagógicas para a sala de aula.

Nessa direção, o livro didático de química precisa se utilizar dos conceitos e da linguagem própria da ciência química, cujas significações podem ser consideradas complexas.

Dentro do contexto químico, as teorias de ligações químicas assumem papel central, pois são conceitos chaves na compreensão do mundo químico, à medida que estão diretamente relacionadas às propriedades e às transformações da matéria (CROFT; BERG, 2014). São, portanto, estruturantes para o ensino de química, pois sua compreensão é desenvolvida com base em diferentes modelos, desde os clássicos até os que empregam conceitos da mecânica quântica.

Levando em consideração que os modelos de ligação metálica podem fazer sentido na aprendizagem e na compreensão da aplicação dos metais no cotidiano, também servem de base para conhecimentos posteriores (CHENG; GILBERT, 2014).

Tendo em vista a importância das ligações químicas para o entendimento da estrutura e das propriedades da matéria que é central na química, essencialmente todas as substâncias estão sujeitas a essas forças de atração de suas partículas subatômicas, tais como átomos, moléculas e íons. Já que a complexidade do entendimento da ligação metálica está associada ao ensino e aprendizagem no Ensino Médio, o propósito deste trabalho foi investigar como os modelos de ligação metálica são apresentados por livros didáticos de química. Para tanto, foram selecionados os livros de química aprovados pelo PNLD 2015, distribuídos nas escolas públicas de todo o território nacional no período de desenvolvimento deste trabalho.

A pesquisa têm atenção especial para as relações estabelecidas entre as dimensões fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional e sócio-histórica. Tais dimensões, ou níveis de realidade, que são percebidas ao estudar química inicialmente por um modelo proposto pelo professor Alex H. Johnstone do Departamento de Química da Universidade de Glasgow, sendo conhecidas como tripé ou triângulo de Johnstone e vêm sendo destacadas pela literatura em educação química pela elaboração de diversos trabalhos (GABEL; BRINER; HAINES, 1992; JOHNSTONE, 1991; MAHAFFY, 2004), constituindo-se como uma das linhas epistemológicas que embarcam o ensino de química.

Seguindo tal proposição, o ensino da química precisaria contemplar esses três aspectos para a aprendizagem. A dimensão macroscópica (ou fenomenológica) é aquela percebida por meio dos sentidos, visão, olfato, audição e tato, ou seja, os aspectos tangíveis da matéria. O conceito de tangível está relacionado ao que o ser humano pode descrever de forma a não precisar de qualquer equipamento para ampliar os seus sentidos. A dimensão submicroscópica (ou atômico-molecular), por sua vez, é intangível e pode ser expressa por representações imagéticas que dizem respeito aos modelos atômicos, partículas, movimento de elétrons dentre outros. Em outras palavras, a dimensão atômico-molecular corresponde à realidade química que é expressa por símbolos e modelos estruturantes da matéria. Ao que se pode distinguir, a dimensão atômico-molecular está relacionada à discussão da estrutura e formação das substâncias, sendo por si só, formas de modelos representadas.

Assim, a dimensão simbólica (ou teórico-representacional) compreende uma grande variedade de representações pictóricas, simbólicas, algébricas (equações e cálculos) e computacionais, o que contribui para uma idealização de modelos utilizados na constituição do conhecimento químico, ajudando na compreensão de outras dimensões do conhecimento

(CHITTLEBOROUGH, 2014; CROFT; BERG, 2014; GOIS; GIORDAN, 2007; MAHAFFY, 2015). A dimensão teórico-representacional é a representação das formas das substâncias, estando essa discussão ligada à aprendizagem, na forma peirceana de como o indivíduo poderá abstrair o objeto ou substância apresentada.

Peter Mahaffy (2004), por sua vez, propõe a modificação do triângulo por meio da inclusão do elemento humano (ou sócio-histórico), configurando assim um tetraedro (figura geométrica espacial composta por quatro vértices e quatro faces) que não representa as dimensões no mesmo plano e patamar epistemológico. Assim, o tetraedro configura-se como uma ferramenta que permite refletir e discutir os conceitos químicos bem como seu ensino, além de proporcionar um novo olhar para as abordagens no ensino de química.

Nesse contexto, a pesquisa busca responder a seguinte questão: Como as diferentes dimensões do conhecimento (fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional e sócio-histórica) são utilizadas para os modelos de ligações metálicas nos livros de química aprovados pelo PNL D 2015 e quais correlações com a aprendizagem podem ser estabelecidas a partir disso?

Para isso, este trabalho está organizado em oito seções, cuja introdução, aqui apresentada, constitui-se de um pequeno apanhado das linhas de pensamento norteadoras deste trabalho.

Na segunda seção é apresentado um breve histórico do livro didático no Brasil, como função social, cultural e pedagógica. Recebem especial atenção as ações que foram desenvolvidas por políticas públicas voltadas ao Programa Nacional do Livro Didático. Em seguida, são apresentados argumentos que enfatizam a presença do livro didático de química no Brasil, como ocorreu a modificação do livro ao longo das décadas, os aspectos pedagógicos e algumas pesquisas que foram importantes para a reflexão do ensino da química como ciência nos livros didáticos.

A terceira seção discorre sobre os sólidos metálicos e metais, bem como sobre a ligação metálica, que envolve conceitos de célula unitária e estrutura cristalina, fundamentais para o ensino e aprendizagem desse conteúdo. A compreensão da força de interação entre as partículas subatômicas são primordiais para inicialmente entender os conteúdos posteriores, assim como as propriedades dos metais são importantes para que o estudante possa perceber os metais presentes no cotidiano. Também nessa seção são apresentados alguns estudos que evidenciaram as dificuldades dos estudantes ao estudarem o conteúdo de ligação metálica.

A quarta seção dialoga com as dimensões do conhecimento utilizando-se da metáfora do tetraedro, cujas bases são as dimensões fenomenológica, atômico-molecular e teórico-

representacional propostas por Johnstone. Já no topo do tetraedro encontra-se a dimensão sócio-histórica, proposta por Peter Mahaffy. Essas dimensões são apresentadas e discutidas para a fundamentação teórica na análise do objeto desse trabalho.

Na quinta seção colocamos a metodologia de análise utilizada por este estudo, tendo os livros didáticos como objeto de estudo documental e qualitativo do conteúdo de ligação química dos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2015.

Na sexta seção, os resultados e discussões são evidenciados através de subseções em que foram abordadas as dimensões fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional e sócio-histórica. Dentro dessas subseções discute-se como os livros abordam o tema proposto.

A sétima seção apresenta os apontamentos finais, que discorrem sobre as generalidades encontradas na análise do conteúdo proposto.

Na oitava seção é apresentado o produto educacional, que consiste em uma produção dentro da área de concentração que contribui para o ensino, sendo condição para finalização do curso *stricto sensu* do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Alagoas.

O objetivo geral deste trabalho é investigar a abordagem apresentada por LD brasileiros de química aprovados pelo PNLD 2015, observando as relações estabelecidas entre as dimensões fenomenológica, atômico-molecular, representacional e sócio-histórica para o conteúdo de ligação metálica. Já como objetivos específicos, há a proposta de (i) avaliar as imagens e os modelos utilizados para o ensino da ligação metálica nos livros didáticos, (ii) utilizar as dimensões do conhecimento propostas por Johnstone e Mahaffy como recurso de análise do conteúdo de ligação metálica, e (iii) apontar o movimento que acontece nas relações que os livros didáticos fazem entre as dimensões fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional e a inclusão da dimensão sócio-histórica, ao abordar o conteúdo de ligação metálica.



## 2 O LIVRO DIDÁTICO

### 2.1 Breve histórico sobre o livro didático no Brasil

Diferentes tipos de escritos influenciaram e ainda influenciam profundamente a formação do ser humano, para o qual a necessidade de ensinar é uma constante cultural que surgiu desde as primeiras civilizações. O caminho percorrido pelo conhecimento ao longo dos tempos passou pela escrita em pedras, papiros, pergaminhos, chegando até ao suporte em papel. Essa trajetória de divulgação de saberes que perpassa a história do ser humano permitiu a manutenção do conhecimento, com a conseguinte evolução da ciência e da atividade da própria humanidade. Assim, os livros estão intimamente relacionados à história do mundo, das civilizações e, conseqüentemente, da educação da humanidade (LIMA, 2007).

Especificamente sobre a educação, os livros, além do papel de manutenção e divulgação do conhecimento, começaram a ser pensados com a função de estruturar o conhecimento para ser ensinado.

Para Uyulgan *et al.* (2011, p. 1127), os livros didáticos “desempenham de certa forma um papel no desenvolvimento da sociedade, fornecendo aos estudantes valores no sentido da ciência e da arte”. Os autores descrevem que os LD são publicações que têm como público alvo os professores e estudantes, com conteúdos estruturados, e sugerem a forma como os professores podem trabalhar esses conteúdos em sala de aula.

A história do livro didático no Brasil tem como ponto de partida Portugal no século XVI, com a vinda das cartilhas trazidas pelos portugueses. Já no final do século XIX e início do século XX, o livro didático era visto “tanto como instrumento de trabalho do professor quanto como único objeto cultural ao qual a criança tinha acesso” (SIGANSKI; FRISON; BOFF, 2008).

Ainda no século XX, houve a expansão da indústria editorial brasileira, e com o aumento da produção de livros cujo foco era a sala de aula, surgiram órgãos que deram destaque ao LD como instrumento que possibilita o acesso à informação educacional, juntamente com a criação de legislação de controle, produção, distribuição e circulação do LD.

A expansão do acesso ao LD se deu em função das políticas públicas adotadas no país, onde o primeiro momento histórico importante para o Brasil foi devido à criação do Instituto Nacional do Livro (INL) em 1929. Entretanto, a partir de 1934, quando Gustavo Capanema tornou-se Ministro da Educação do governo de Getúlio Vargas, o instituto recebeu suas

primeiras atribuições, tais como a edição de obras literárias para a formação cultural da população, a elaboração de uma enciclopédia e de um dicionário nacional e a expansão de bibliotecas públicas. Por meio do Decreto – Lei nº 1.006, de 30/12/38, o Estado instituiu a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD), estabelecendo sua primeira política de legislação e controle de produção e circulação do livro didático no país (BRASIL, 1938). Todavia, após 11 anos (1934 - 1945), quando Gustavo Capanema deixou o MEC, dois dos objetivos centrais do INL (a elaboração da enciclopédia e do dicionário nacional) ainda não haviam sido concretizados.

Outro importante fato histórico foi a criação da Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático (COLTED) na década de 60, o que ocorreu por meio do convênio entre o então Ministério da Educação e Cultura (MEC) e a Agency for International Development (AID). Esse convênio ficou conhecido como acordo MEC/USAID, e um dos principais objetivos era a distribuição gratuita de cerca de 51 milhões de livros para os estudantes brasileiros em um período de três anos. Todavia, o acordo vigorou por apenas certo período, ficando aquém do que se esperava e sendo interrompido sem que atingisse os seus objetivos iniciais.

Nos anos 70, o INL assumiu a direção e a responsabilidade pelos livros didáticos no Brasil, tendo como objetivo básico a coedição das obras. Para isso, buscava transformações do programa do livro didático e valorização dos aspectos pedagógicos. Mas em 1976 ocorreu nova redefinição do programa, que ficou sob a direção da Fundação Nacional do Material Escolar (FENAME), com novas propostas e expansão da distribuição para todo o território brasileiro (VAHL; PERES, 2016).

Em 1983, surgiu o Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental (PLIDEF), cuja atuação se dava em conjunto à Fundação de Assistência ao Estudante (FAE). Alguns dos diferenciais do novo programa estiveram relacionados à possibilidade de indicação de obras pelos professores e à reutilização do material didático em anos subsequentes. Com a extensão da distribuição aos alunos de 1ª e 2ª série das escolas públicas e comunitárias, culminou no fim da participação financeira dos estados que até então tinham participação nas ações voltadas ao LD. Esse talvez tenha sido o primeiro programa voltado à distribuição de obras didáticas que atuou de forma mais abrangente no Brasil, alcançando estudantes da rede pública (VAHL; PERES, 2016).

A extinção do PLIDEF ocorreu em função da criação do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) – que ocorreu a partir do Decreto nº 91.542, de 19/08/1985 (BRASIL, 1985). Já com a extinção da FAE em 1997 e com a transferência da política de execução do PNLD para o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), iniciou-se uma

nova fase de distribuição do livro didático, caracterizada pela abrangência e continuidade (VAHL; PERES, 2016).

Dessa forma, ocorreram mudanças fundamentais, sendo os LDs avaliados por uma comissão de especialistas, geralmente formada por professores universitários e da Educação Básica, que selecionam as obras quanto à qualidade. Os resultados dos livros aprovados para a distribuição passaram a ser divulgados nos Guias de Livros Didáticos, distribuídos nacionalmente para as escolas com o objetivo de orientar os professores na escolha do livro didático (BRASIL, 1985).

Com essas ações, foram adquiridos livros de alfabetização, língua portuguesa, matemática, ciências, estudos sociais, história e geografia para todos os estudantes de 1ª a 8ª série do ensino fundamental da rede pública.

Em 2000 teve início a distribuição de dicionários de Língua Portuguesa para estudantes de 1ª a 4ª série do ensino fundamental. Em 2002, a distribuição dos dicionários é ampliada para alunos de 5ª e 6ª séries e, em 2003, para alunos de 7ª e 8ª séries. A partir disso, alcançou-se o objetivo de atender todos os estudantes do ensino fundamental (BRASIL, 2014a).

Em 2004, o MEC criou o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM). Em 2008, o governo passou a distribuir os livros de todos os componentes curriculares. O PNLEM estava vinculado à Secretaria do Ensino Médio do MEC, que deixou de existir em 2009. Assim, a partir da resolução nº 60 de 20 de Novembro de 2009 (BRASIL, 2009), o PNLD ficou sob a responsabilidade do FNDE com a participação da Secretaria da Educação Básica (SEB), que conjuntamente tinham os seguintes atributos: I) elaborar os editais de convocação para avaliação e seleção de obras para o Programa; II) promover a pré-inscrição, por meio de sistema informatizado na internet; III) viabilizar a inscrição e a triagem dos livros didáticos e demais materiais; IV) disponibilizar o guia de livros didáticos às escolas participantes (BRASIL, 2014b).

Desde então, o programa atende a todos os estudantes da Educação Básica brasileira. O Brasil é um dos países que mais investe em livros didáticos, com uma média de R\$ 1.219.660.919,99 (um bilhão, duzentos e dezenove milhões, seiscentos e sessenta mil, novecentos e dezenove reais e noventa e nove centavos) no último triênio. O Quadro 1 mostra o investimento do governo federal através do FNDE em aquisição e distribuição de livros para os estudantes dos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio entre os anos de 2012 e 2014.

Em 2015, foram distribuídos, além de livros didáticos de Língua Portuguesa, Língua Estrangeira Moderna (Inglês e Espanhol), Matemática, História, Geografia, Sociologia, Filosofia, Biologia, Física e Química, os livros de Arte, o que se tornou um ganho significativo para as escolas do Ensino Médio<sup>1</sup> (BRASIL, 2014a). No mesmo ano, foram avaliadas pelo PNLD 185 obras de livros didáticos para estudantes do Ensino Médio, das quais 99 foram aprovadas e 86 foram excluídas e, dentre esse montante, estão as obras produzidas para auxiliar o ensino de química no Ensino Médio.

**Quadro 1** - Investimento em livros didáticos nos anos iniciais e finais do Ensino Fundamental e Médio.

<b>Investimento em livros didáticos nos anos de 2012-2015</b>			
<b>Ano</b>		<b>Exemplares</b>	<b>Investimento em Reais (R\$)</b>
<b>2014</b>	<b>PNLD 2015</b>	140.681.994	1.330.150.337,36
<b>2013</b>	<b>PNLD 2014</b>	137.858.058	1.212.945.073,00
<b>2012</b>	<b>PNLD 2013</b>	132.670.307	1.115.887.346,61
<b>Média do triênio</b>		137.070.119.667	1.219.660.918,99

Fonte: FNDE, 2015 (adaptado).

Os estudantes das escolas públicas se beneficiam ao receber o livro como recurso didático, pois servem como direcionamento para muitos professores na utilização e no trabalho dos conteúdos curriculares. Assim, a preocupação com a qualidade do livro didático se mostra cada vez mais inerente aos educadores de química, fazendo deste um tema de variadas pesquisas.

## 2.2 O LD de ciências/química: importância, aspectos pedagógicos e pesquisas

Os livros didáticos podem ser considerados instrumentos de difusão de um conhecimento acumulado, bem como de organização de um conteúdo a ser ensinado. Sob este ponto de vista, os LD configuram-se como mecanismos de homogeneização de conceitos, conteúdos e abordagens de ensino (LOPES, 1993; SCHNETZLER, 1981). Nessa direção, os livros constituem-se não apenas como instrumentos pedagógicos, mas instrumentos culturais, políticos e ideológicos. Para Martins (2006), a importância dos livros é incontestável.

Esta importância é atestada, entre outros fatores, pelo debate em torno da sua função na democratização de saberes socialmente legitimados e relacionados a diferentes campos de conhecimento, pela polêmica acerca do seu papel como estruturador da atividade docente, pelos interesses econômicos em torno da sua produção e comercialização, e pelos investimentos de governos em programas de avaliação (MARTINS, 2006, p.19).

<sup>1</sup> Para mais informações, consultar o Guia de livros didáticos PNLD 2015: ensino médio, disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/guias-do-pnld/item/5940-guia-pnld-2015>>.

Lima, Campos e Rodrigues (2005) defendem que os livros de ciências diferem dos demais, pois podem estimular variadas capacidades mentais. Tais autores relatam que o livro de ciências “deve ser um instrumento capaz de promover a reflexão sobre os múltiplos aspectos da realidade e estimular a capacidade investigativa do aluno para que ele assuma a condição de agente na construção do seu conhecimento” (LIMA; CAMPOS; RODRIGUES, 2005, p.1).

Especificamente falando de livros didáticos de química, sua publicação no Brasil tem início durante o império, em 1827. Os primeiros livros tinham o ensino como algo instrucional, com ênfase em uma química descritiva, aparecendo como apêndice da Física, ou, em geral, em simbiose com a mineralogia (ROSA; TOSTA, 2006).

Mortimer (1988) argumenta que tal fato se deu em função da falta de um sistema de ensino estruturado. Como consequência, tais livros não seriam didáticos apropriadamente falando, pois se caracterizavam como compêndios de química geral, em que predominavam exemplos e conceitos definidos de forma operacional. Uma característica também interessante é a ausência completa de exercícios ou questionários e a ênfase em abordagem qualitativa. A única exceção refere-se às leis ponderais e volumétricas das reações químicas, que também apresentavam uma abordagem quantitativa (MORTIMER, 1988).

No primeiro trabalho de pesquisa no Brasil, cujo foco tenha sido os livros, publicado em 1981, Schenetzler avaliou livros de química produzidos em quase um século (1875 a 1978) destinados ao então Ensino Secundário. A autora sublinha que a experimentação e as relações com o cotidiano foram mais evidentes entre 1931 e 1941. Após esse período, os livros foram mais pautados por um ensino teórico, dissociado da sociedade e pautado pela memorização.

De acordo com Mortimer (1988), alterações no formato dos livros ocorreram a partir dos anos de 1930, com destaque para a inclusão de questionários e exercícios, além da modificação na apresentação de forma operacional dos conceitos. Modificações mais significativas advieram em 1970, com a ênfase em aspectos gráficos. Além disso, em concordância com os resultados de Schenetzler (1981), os livros apresentavam ausência de atividades experimentais, privilegiando um ensino acrítico e de memorização.

Consonante à expansão do mercado editorial, fomentada especialmente pelo governo federal, bem como o aumento das pesquisas em educação química, estudos realizados com livros didáticos expandiram-se a partir dos anos de 1990. A ampliação da distribuição para o Ensino Médio, com o PNLEM e PNLD, foi outro marco que impulsionou os estudos na área.

Nesse contexto, percebe-se que os LD representaram e ainda representam um campo de investigações com vastas possibilidades em educação.

Tais pesquisas têm sido abordadas sob diferentes enfoques: (i) do tipo político - que trata de gestão de recursos como seleção, distribuição e controle; (ii) sócio histórico - levando em consideração a história do ensino pelas mudanças no currículo e disciplinas; (iii) econômico - que visa à comercialização, produção e distribuição, este, por vez, está intrinsecamente ligado ao fator político quanto ao desenvolvimento de políticas públicas na educação, visto que essa ação é uma política pública condicionada por esses fatores; (iv) pedagógico - que avalia conteúdos, forma de organização, proposta pedagógica, sugestão de atividades, presença de temáticas, uso de recursos, dentre outros (CASSIANO, 2004; CHITTLEBOROUGH, 2014; FRANCISCO JUNIOR; FRANCISCO; SILVA, 2016; SIGANSKI; FRISON; BOFF, 2008; VIDAL; PORTO, 2012).

Não obstante a intensificação de novas vertentes de investigação, a ênfase nos aspectos pedagógicos e do conhecimento químico sempre foi uma constante. Variadas temáticas foram abarcadas dentro da vertente pedagógica. Nesses estudos, uma série de estudos de destaque refere-se à análise de obstáculos epistemológicos conduzidas pela professora Alice Ribeiro Casimiro Lopes (1993, 1994, 1996). Em um dos estudos, a autora empreendeu análise em 107 livros destinados ao ensino secundário de química brasileiro entre o período de 1931 a 1990. Tais estudos demonstraram uma série de erros conceituais, originados especialmente por analogias e imagens que distorciam o significado dos conceitos.

A presença de analogias é outro tema recorrente (FRANCISCO; FRANCISCO JUNIOR, 2009; LOPES, 1993; MONTEIRO; JUSTI, 2000). Monteiro e Justi (2000) empreenderam um detalhado estudo com variados livros brasileiros e apontaram para um grande quantitativo de analogias que pouco favorecem a aprendizagem. Sobre a mesma temática, Francisco e Francisco Junior (2009) corroboram com a perspectiva de que a forma de abordagem das analogias carece de uma discussão que possa auxiliar o desenvolvimento das explicações necessárias à compreensão da ciência.

Podem ainda ser citados trabalhos que se debruçaram a respeito de temáticas mais recentes, sobre a presença e avaliação de imagens, tais como em vários estudos (LEMES; SOUZA; CARDOSO, 2010; ROZENTALSKI; PORTO, 2015; VALLADARES; PALACIOS, 2002). Há também um destaque negativo que aponta que, apesar da variedade das representações simbólicas, quase sempre são bidimensionais e por vezes carecem de elementos que permitam ao leitor inferir adequadamente sobre seus significados.

Ferreira, Fernandes e Campos (2016) realizaram um trabalho expondo uma situação-problema a respeito de vídeo sobre duas propriedades dos metais, a condução elétrica e térmica, com estudantes de Licenciatura em Química de um Instituto Federal de Ensino Superior (IFES), em que se utilizaram das categorias (ou níveis) do conhecimento químico, isto é, teórico, representacional e fenomenológico. Os resultados evidenciaram que "alguns estudantes apresentaram dificuldades na representação da ligação metálica" (FERREIRA; FERNANDES; CAMPOS, 2016).

Recentemente, estudos que consideraram livros para o Ensino Superior também se fazem mais constantes. Souza e Porto (2011), por exemplo, analisaram 32 obras do século XX, voltadas ao ensino de química, utilizadas nas universidades brasileiras quanto a parâmetros iconográficos e textuais, o que permitiu, segundo os autores, "identificar diferentes tendências para o ensino, aparentemente associadas a diferentes concepções sobre essa ciência" (SOUZA; PORTO, 2011, p.1), do mundo atômico-molecular, e com aplicações da química no cotidiano de forma fenomenológica. Por sua vez, Francisco Junior, Francisco e Oliveira (2012) investigaram as analogias em livros do Ensino Superior de Química Geral. Leite e Porto (2015) também realizaram trabalhos de análise em livros de Química Geral do Ensino Superior com abordagem histórica da tabela periódica.

Pode-se ainda destacar estudos que avaliaram questões ligadas ao processo de escolha dos LD pelos professores (LOGUERCIO; SAMRSLA; DEL PINO, 2001; LOPES, 1993; MONTEIRO; JUSTI, 2000; MORTIMER, 1988). Entretanto, como aponta Santos (2001), os professores não estão habituados a analisar livros didáticos baseados em critérios fundamentados teoricamente. Na maior parte dos casos, os critérios analisados pelos professores estão limitados a aspectos como conteúdo, exercícios de vestibulares, alguma alusão ao dia-a-dia dos alunos e questões econômicas.

A escolha de materiais pelo professor, especialmente do Livro Didático, é fundamental no processo de ensino e aprendizagem, e é necessário para a análise definir critérios que irão propiciar aos estudantes um curso relevante a sua vida no âmbito social e cultural (SILVA *et al.*, 2013). É nesse sentido que as investigações sobre essa temática podem auxiliar os docentes durante a escolha dos livros didáticos de química a adquirirem relevância.

### 3 OS SÓLIDOS METÁLICOS E A LIGAÇÃO METÁLICA: conceituação e dificuldades

Os metais estão presentes em diversos materiais, diariamente utilizados em chips de equipamentos eletrônicos, nas armações da construção civil, nos meios de transporte (carros, ônibus, trens, aeronaves), nas pilhas e baterias, dentre outros. Também estão presentes nos seres vivos, geralmente na forma iônica, desempenhando variados papéis, sejam estruturais, tal como o cálcio dos ossos, dos dentes, das conchas, ou funcionais, tal como o ferro da hemoglobina e o magnésio na clorofila. Os íons sódio e potássio, por seu turno, regulam processos celulares. Entretanto, tanto suas funções e aplicações, sejam tecnológicas ou biológicas, quanto sua ocorrência na natureza só podem ser explicadas, compreendidas e otimizadas a partir do entendimento de como se ligam entre si e com outros tipos de elementos.

Ao longo do tempo, o conhecimento acerca das ligações químicas veio da reflexão de que praticamente todas as substâncias estão formadas por uma combinação de átomos. Essas ligações seriam responsáveis pela formação de todas as substâncias, e com o avanço dos estudos, podem-se fazer inferências e prever algumas das propriedades, assim como discernir sobre o seu comportamento.

Os estudos das teorias que ajudaram na elucidação das ligações químicas durante o processo histórico foram discordantes até o final do século XIX. Foi somente no início do século XX que os químicos buscaram entender como e porque ocorrem as reações químicas, chegando a um consenso e colocando assim para o meio científico da época os modelos de ligações químicas que são usuais até a atualidade (CROFT; BERG, 2014).

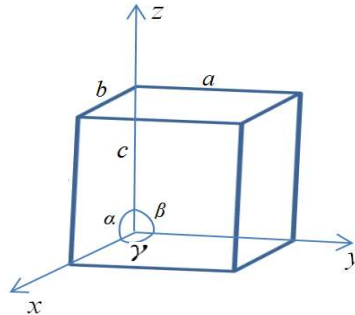
Uma importante técnica que contribuiu para a análise e identificação da posição relativa dos átomos em um sólido foi a difração de raios X, que ofereceu resultados que ajudaram a melhorar a compreensão geral da estrutura molecular e a relação das propriedades químicas e físicas das substâncias analisadas (MAHAN; MYERS, 1990). Por meio dela também foi possível estabelecer que os metais (com exceção do mercúrio) apresentam estruturas cristalinas, dispostas em redes denominadas retículos cristalinos cuja unidade básica é a célula unitária.

A célula unitária é caracterizada por ser a menor unidade constituinte dos cristais, se repetindo ao longo de toda a estrutura cristalina (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006). Sua representação é feita no plano espacial tridimensional, sendo especificada pelos parâmetros de rede  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . Em que  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , são os ângulos dos eixos ortogonais  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (Figura 1),



apresentando ângulos entre as faces homólogas, sempre iguais entre si, e diferentes dos apresentados por outros materiais.

**Figura 1** - Representação espacial de em uma célula unitária

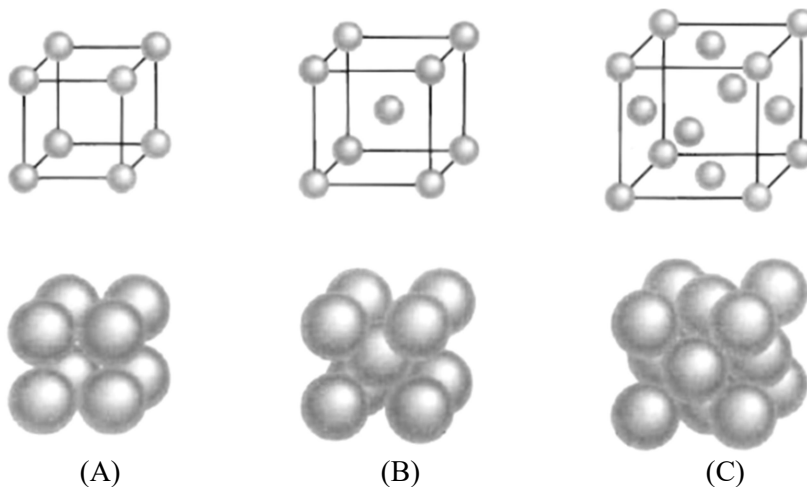


**Fonte:** O autor.

Na estrutura cristalina, as espécies químicas (átomos, íons e moléculas) que formam os sólidos podem ocupar os vértices, o centro da figura geométrica e o centro das faces, dando origem a células unitárias (Figura 2) do tipo cúbica simples (CS), cúbica de corpo centrado (CCC) e cúbica de face centrada (CFC). Os elétrons mais externos, da última camada dos átomos, têm liberdade de percorrer essa estrutura livremente, atraindo e sendo atraídos mutuamente pelos cátions metálicos formados em função de liberação destes elétrons (MAHAN; MYERS, 1990).

Alguns elementos presentes nessas formas cúbicas são as de CCC: cromo (Cr), ferro (Fe), nióbio (Nb), potássio (K), sódio (Na), tungstênio (w) e vanádio (V). Já alguns elementos na forma de CFC são: alumínio (Al), cálcio (Ca), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), ouro (Au), platina (Pt) e prata (Ag) (FERREIRA; FERNANDES; CAMPOS, 2016).

**Figura 2** - Tipos de células cúbicas: (A) Cúbica Simples; (B) Cúbica de Corpo Centrado; (C) Cúbica de Face Centrada.



**Fonte:** Raymond Chang (p.431).

A importância de conhecermos a estrutura dos metais e suas ligas é tão fundamental quanto conhecer as soluções em que as reações são processadas na química.

Ao associar uma série de propriedades a cada tipo de ligação com o objetivo de diferenciar e reconhecer a estrutura desses compostos, pode-se relacionar as propriedades tangíveis e a partir daí prever os tipos de ligações nos sólidos (CROFT; BERG, 2014; MAHAN; MYERS, 1990).

Assim, os conceitos de célula unitária e estrutura cristalina são conceitos-chave para ajudar a compreender a estrutura e a propriedade dos metais. Por sua vez, a força que mantém os átomos, mais apropriadamente os íons, em sua estrutura química, é o que se denomina de ligação química.

Já a estrutura dos metais é geralmente representada por uma figura retangular e com a presença de círculos com o sinal positivo (cátions) e pequenos pontos deslocados (os elétrons) (CHENG; GILBERT, 2014).

A compreensão da força atrativa é essencial para explicar as principais propriedades dos metais, que são condutividade, maleabilidade e ductilidade. Com a discussão sobre a força eletrostática, é possível perceber a interação, que pode ser considerada ao se fazer uma progressão em diferentes níveis de classificação e é mais valioso do que simplesmente descrever a estrutura (CHENG; OON, 2016).

A ligação metálica envolve uma força eletrostática entre os cátions metálicos formados a partir da liberação dos elétrons para a estrutura cristalina, sendo que esses elétrons permanecem deslocalizados. Segundo esse modelo clássico, os metais seriam cristais formados por cátions, cujos elétrons de valência se movimentariam aleatoriamente tal qual partículas de um gás. É nesse sentido que esse modelo, proposto inicialmente pelo alemão Paul Drude, é denominado modelo de gás de elétrons<sup>2</sup>. Nesse caso, a força de atração eletrostática entre os cátions metálicos e seus elétrons que percorrem a estrutura seria responsável por estabilizar os metais.

A representação do modelo gás de elétrons concorda com as propriedades mecânicas dos metais e explica, por exemplo, que a maleabilidade dos metais e suas ligas são uma propriedade muito utilizada pela indústria na fabricação de objetos metálicos, pois tem a capacidade de formar fios, produzir folhas laminares e dobrar sem que se rompa facilmente.

---

<sup>2</sup> Em uma série artigos publicados em 1901, Paul Drude aplicou o modelo cinético dos gases na tentativa de explicar matematicamente a condutividade elétrica e térmica dos metais. O pesquisador utilizou os elétrons em analogia às partículas de um gás. No entanto, por um processo histórico de transformação didática, o modelo figurou em livros como mar de elétrons e não como proposto originalmente.

Como os elétrons não estão localizados na estrutura cristalina, o deslizamento dos planos, de um sobre o outro é facilitado com gasto de energia reduzida, podendo sofrer deformações sem que possa ser quebrado e ocorrendo um rearranjo apenas dos cátions (MAHAN; MYERS, 1990; TEIXEIRA, 2000).

Uma propriedade dos metais relevantes é o ponto de fusão dos metais. Assim, os sólidos metálicos podem ser fundidos e transformados em ligas metálicas, característica que além de auxiliar na sua identificação, também se consegue moldar os materiais metálicos na produção de objetos. Assim, na sua forma substancial, os metais e suas ligas se caracterizam pelo brilho aparente, alta condutibilidade elétrica, maleabilidade, entre outras. Metais como prata, platina e o ouro são exemplos dessas propriedades. A importância de conhecer os metais é reverenciada ao passo que a cada dia o homem necessita de mais e mais objetos que apresentam metal em sua constituição.

Além das relações entre a estrutura e suas propriedades, é necessária a utilização de representações mentais do ponto de vista fenomenológico. O estudo dos sólidos metálicos e suas propriedades abrange uma gama de conceitos científicos tangíveis, conferindo-lhe um papel multidisciplinar.

A aprendizagem do conteúdo de ligação metálica vista pelos estudantes só será efetiva se o estudante conhecer de forma clara os conceitos envolvidos, o que pode ser facilitado através de uma abordagem que mostre as diferentes formas de conhecimento. Dessa forma, os livros didáticos, por estarem presentes no cotidiano dos estudantes, podem ajudá-los a compreender o conteúdo de ligação metálica.

Para Cheng e Gilbert (2014), repensar o modelo de gás de elétrons implica uma mudança conceitual que envolve dois aspectos importantes, isto é, a estrutura (partículas/átomos no modelo de partículas simples) e a relação (força eletrostática do modelo) entre os componentes da ligação metálica de forma estrutural.

Justamente uma das maiores dificuldades de compreensão do tema é a diferença entre estrutura e ligação metálica, ideias obviamente interdependentes, mas que não significam a mesma coisa. A estrutura relaciona-se basicamente ao arranjo das partículas. Já a ligação é o modelo científico que visa entender e explicar teoricamente como as partículas mantêm-se unidas, sua estabilidade, bem como suas propriedades. Essa delimitação e inter-relação entre estrutura e ligação são apontadas como uma das dificuldades para a compreensão do conhecimento acerca dos metais (TABER; COLL, 2002).

Posada (1993) pediu aos alunos que desenhassem a estrutura interna de um prego de ferro. Alguns desenharam pequenas lâminas ou pedaços de metal. Em outros casos, no

entanto, eles representaram íons positivos sem a nuvem eletrônica ou a nuvem eletrônica com átomos neutros ao invés de cátions, embora muitos empregassem termos como átomos, parte positiva, nuvem eletrônica, partículas e até moléculas. Tais resultados evidenciam a falta de compreensão da estrutura interna e seus modelos.

Muitas vezes os estudantes reconhecem que as partículas componentes dos metais exibem uma forte atração entre si, mas não apresentam explicação teórica para isso (POSADA, 1997). Provavelmente porque o conhecimento sobre esses tópicos não é útil para interpretar os fatos físicos. A mesma autora (POSADA, 1999), em outro estudo, solicitou aos estudantes que desenhassem dez partículas de cálcio e verificou que poucos estudantes representavam uma rede metálica, embora o fizessem para o ferro. Frequentemente os estudantes usaram modelo “mar de elétrons” (termo usualmente presente em livros didáticos), mas pouco compreendem o papel dos elétrons no metal.

Resultados similares são verificados quando os estudantes precisam explicar a condutividade elétrica. Normalmente os professores acreditam que se um estudante entendeu que existem elétrons nos metais ou se apropriou da metáfora “mar de elétron” trazida nos livros didáticos, automaticamente ele apreendeu sobre a natureza das correntes elétricas; mas isso não acontece. Os estudantes têm dificuldades para compreender o papel dos elétrons em seus modelos. É frequente se referirem à capacidade de os elétrons conduzirem correntes elétricas nos metais, ao invés de apontarem os elétrons como sendo a própria corrente elétrica (COLL; TREAGUST, 2003). Assim, a capacidade de conduzir eletricidade é equivocadamente compreendida como sendo uma propriedade dos elétrons e não dos metais.

Ao associar uma série de propriedades a cada tipo de ligação com o objetivo de diferenciar e reconhecer a estrutura desses compostos, pode-se relacionar as propriedades em uma abordagem fenomenológica e a partir daí prever os tipos de ligações nos sólidos numa dimensão atômico-molecular (CROFT; BERG, 2014; MAHAN; MYERS, 1990). Entretanto, a ênfase nos aspectos fenomenológicos sem uma adequada compreensão dos modelos invariavelmente resulta em distorções, sendo necessário outros tipos de abordagem para uma melhor compreensão da ligação metálica.

Nos metais, a representação do modelo de gás de elétrons também é útil para explicar as propriedades mecânicas dos metais, como a possibilidade de deformações (MAHAN; MYERS, 1990; TEIXEIRA, 2000). Assim, é possível formar fios, produzir folhas laminares e dobrar sem que se rompa facilmente. A importância de conhecer tais propriedades é fundamental para se entender a aplicabilidade dos metais, sua constituição e produção de objetos metálicos.

Entretanto, os modelos dos estudantes para explicar a maleabilidade dos metais podem ser tão problemáticos quanto para a condutividade, como apresentados no trabalho de Coll e Treagust (2003). Ao explicar as propriedades de deformação, os estudantes empregam uma série de termos como "esmagados" e "achatados" para descrever o efeito dos átomos nos metais. Termos imprecisos, tais como os átomos se movem porque eles foram colocados "sob pressão" e, portanto, "conseguiram ir" quando submetidos a pressão, são notados e não dão conta de explicar o fenômeno. A maleabilidade do cobre também é explicada em termos de mudanças no tamanho e/ou forma de espécies atômicas, quer sejam íons ou átomos, e rearranjo de redes. Confusões a respeito da distância entre os átomos quando o metal sofre deformação é bastante comum. Alguns estudantes acreditam que a estrutura se move ao redor dos átomos, que estariam "mais distanciados" em um bloco, enquanto aqueles em uma folha fina estariam "mais compactos" (COLL; TREAGUST, 2003).

Cheng e Oon (2016) resumem três grandes pontos a serem problematizados no ensino das ligações metálicas:

i) A ligação considerada simplesmente como estrutura. Nesse caso, os cátions metálicos e elétrons deslocalizados seriam por si próprios a ligação metálica.

ii) A ligação como um processo em que os átomos ganham ou perdem elétrons para adquirir um octeto e/ou formar o "mar de elétrons". Nesse ponto, a compreensão da ligação metálica difere da estrutura e ignora a força eletrostática, mas tem prevalecido entre estudantes e livros didáticos, o que pode levar os estudantes a descreverem o processo sequencial de formação de elétrons livres sem indicar a força eletrostática entre os elétrons e cátions.

iii) A ligação pode ser considerada exclusivamente como a força eletrostática. Como já apresentado, é importante considerar as características de um processo em que os átomos de metal perdem elétrons de valência, formando cátions em meio aos elétrons em movimento aleatório e constante (gás de elétrons).

Nesse processo, todos os agentes (tanto os cátions, quanto os elétrons) se comportam de maneira uniformemente simultânea. Existe uma atração eletrostática mútua entre cada elétron e cada cátion metálico. Tal entendimento é fundamental para a ligação metálica e para explicar a maleabilidade de metais, principalmente ao se levar em consideração também a estrutura.

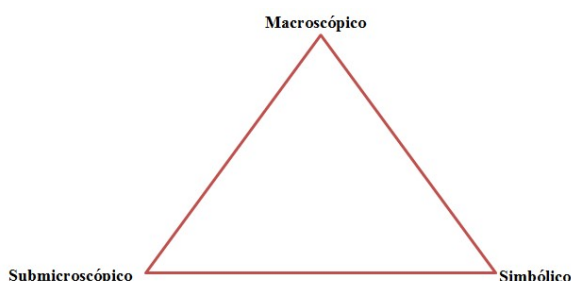
Assim, para que os estudantes tenham conhecimento dos sólidos metálicos e suas propriedades, é importante que os conceitos-chave não sejam fragmentados e por assim devidamente estabelecidos. A aprendizagem do conteúdo de ligação metálica, vista pelos

estudantes, só será efetiva se o estudante conhecer de forma clara os conceitos envolvidos, o que pode ser facilitado através de uma abordagem que mostre as diferentes propriedades e qual o papel dos modelos para explicá-las/interpretá-las.

#### 4 DIMENSÕES DO CONHECIMENTO PARA O ENSINO DE QUÍMICA

A compreensão adequada dos fenômenos da matéria a nível fenomenológico exige um entendimento do mundo atômico por meio da linguagem e das representações. Assim, a conexão dos aspectos empíricos com o mundo particulado e sua representação vem sendo apontada como um dos aspectos-chave para a aprendizagem em química e compõe as dimensões do conhecimento químico (GABEL; BRINER; HAINES, 1992; JOHNSTONE, 1991; MAHAFFY, 2004). Tais dimensões, ou níveis de realidade, destacam três importantes aspectos para considerar o ensino de química – a dimensão macroscópica (ou fenomenológica), submicroscópica (ou atômico-molecular) e simbólica (ou teórico-representacional). Essas três bases ficaram conhecidas como tripé ou triângulo de Johnstone (Figura 3).

**Figura 3** - Níveis de aprendizagem



**Fonte:** JOHNSTONE, 1991.

Muitas pesquisas têm se sustentado por estas três bases, embora existam críticas quanto a sua concepção filosófica (WHARTA; REZENDE, 2015). No entanto, tal modelo tem oportunizado um grande debate em todo o mundo, recebendo atenção de formas diversificadas na literatura (TALANQUER, 2011). Há estudos que criam subcategorias dessas dimensões (MAHAFFY, 2004; SJÖSTRON; 2013). Uma dimensão do conhecimento pode-se desdobrar em uma infinidade de conceitos epistemológicos utilizados na abordagem do conhecimento químico. Logo, não se pode negar a contribuição ao debate e, porque não, a própria forma de pensar aquilo que é importante para o entendimento da ciência química. Dessa forma, concorda-se com Mahaffy (2004) ao introduzir mais uma dimensão do conhecimento e subcategorias apresentadas (Secção 4.4).

#### 4.1 Dimensão fenomenológica

Na dimensão fenomenológica (macroscópica), os indivíduos se utilizam dos sentidos - visão, olfato, audição e tato, isso em função dos fenômenos ocorrerem de maneira tangível. O conceito de sólido, por exemplo, é construído desde criança na cotidianidade pelo contato, pela capacidade de interagir concretamente, pegando, soltando, vendo.

No entanto, a dimensão fenomenológica não é caracterizada tão somente pela cotidianidade, isto é, por fenômenos vivenciados no dia-a-dia. O contato com os fenômenos também ocorre por meio de experimentos vivenciados em laboratórios ou outras situações didático-pedagógicas (CHITTLEBOROUGH, 2014; MAHAFFY, 2015). Assim, autores também consideram que o nível fenomenológico engloba o uso de conceitos e ideias para a descrição da natureza e propriedades da matéria. Por exemplo, ao se tratar da pressão atmosférica fazendo-se referência à força que os gases da atmosfera exercem sobre a superfície da Terra, também se estaria tendo uma abordagem fenomenológica ligada às características do planeta.

Por outro lado, outros autores consideram essencialmente a dimensão fenomenológica ligada ao ambiente escolar, tendo em vista que eles seriam diferentes dos fenômenos cotidianos, em função das intencionalidades pedagógicas que delimitam o processo educativo.

De qualquer forma, os fenômenos podem ser subdivididos em situações experimentadas na vida real, sejam no cotidiano, salas de aula ou laboratórios, bem como no uso de conceitos e ideias para a descrição da natureza e das propriedades da matéria. Nessa perspectiva, ela contemplaria duas questões básicas: i) a natureza descritiva daquilo que é tangível, tais como as características e propriedades da matéria; ii) aspectos funcionais relacionados ao uso e aplicações dos materiais (TALANQUER, 2011), por exemplo, o emprego de metais para a produção de fios em função da elevada condutibilidade elétrica, bem como a capacidade dos metais em formarem fios. Estas são propriedades tangíveis que oferecem informações quanto ao que pode ser utilizado pelo homem para criar objetos, adaptar ou melhorar outros.

Porém, a compreensão dos fenômenos, do ponto de vista da química, exige ir além da percepção sensorial concreta e descritiva. Ao afirmar que a química é uma ciência que estuda as particularidades da matéria, afirma-se também que é necessária a compreensão de diferentes escalas da estrutura dos compostos, formados por átomos, moléculas ou íons que por sua vez formam estruturas cada vez mais complexas. Tais estruturas se enquadram numa

dimensão intangível ao ser humano, denominada por Johnstone de submicroscópica (Figura 2), e chamada por alguns autores de dimensão atômico-molecular (CHITTLEBOROUGH, 2014; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003).

#### **4.2 Dimensão atômico-molecular**

Uma vez que as propriedades fenomenológicas estão intimamente relacionadas às propriedades atômico-moleculares, a compreensão deste mundo atômico-molecular será condição fundamental para explicar e justificar fenômenos e propriedades variadas (TALANQUER, 2011). Assim, para se discutir o íntimo da matéria atômico-molecular que estrutura a formação de qualquer substância química, é preciso conhecer e representar sua estrutura, sendo fundamental para o estudo de propriedades químicas intangíveis.

Para alguns autores, a dimensão atômico-molecular é caracterizada por diferentes formas que variam pelas representações de conceitos e modelos, pelo tipo de interação atômica e molecular ou de íons presentes em um sistema (TALANQUER, 2011).

Tendo em vista que a estrutura da matéria não pode ser facilmente percebida pelos sentidos, como ocorre com as propriedades da dimensão fenomenológica, a dimensão atômico-molecular é expressa por representações diversas. Podem-se configurar como representações as imagens de modelos, modelos físicos, desenhos e diagramas para uma descrição mais elaborada da natureza da matéria subatômica e molecular ou ainda as representações de interações entre íons.

Assim, a ligação metálica e suas propriedades se darão pelo processo explicativo da interpretação dos modelos sob o foco da dimensão atômico-molecular e teórico-representacional, em que esse processo nem sempre consegue ser entendido pelo seu funcionamento e interação existente entre os cátions dos metais e elétrons deslocalizados (CHENG; OON, 2016).

Tais representações funcionam como um elo entre o mundo atômico-molecular e o tangível com base na dimensão representacional, pois a formação das estruturas dos compostos é objeto de estudo para a compreensão e explicação dos modelos científicos.

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, 2011, p.211).



Dentro dessa perspectiva, é fundamental que os modelos sejam centrais na abordagem pedagógica, em virtude da aprendizagem em química estar correlacionada à abstração de conceitos envolvendo a realidade, mas que não são percebidos facilmente por estudantes (TALANQUER, 2011). O trabalho com modelos é parte intrínseca ao conhecimento químico, pois, sem o seu uso, a química fica reduzida a descrições de propriedades fenomenológicas e suas mudanças.

Dessa forma, os modelos mais comuns são utilizados para o ensino de química como função didática, por meio dos livros didáticos na forma de “desenhos (de materiais, processos e modelos moleculares), gráficos, aos quais outros recursos são adicionados (como cores e desenhos), diagramas, analogias e simulações” (JUSTI, 2011, p. 219).

Nos trabalhos de Nakhleh (1994) e Garnet, Garnet e Hacking (1995) assinalam que estudantes de Ensino Médio e Superior apresentam dificuldades no uso do modelo de partículas atualmente aceito para a interpretação de fenômenos químicos.

### **4.3 Dimensão teórico-representacional**

A dimensão teórico-representacional, ou simplesmente representacional, compreende uma grande variedade de representações imagéticas, simbólicas, algébricas (equações e cálculos matemáticos) e computacionais que contribuem para a idealização de modelos utilizados na constituição do conhecimento químico, ajudando na compreensão de outras dimensões do conhecimento (CHITTLEBOROUGH, 2014; CROFT; BERG, 2014; GOIS; GIORDAN, 2007; MAHAFFY, 2015). Por esse motivo, essas duas dimensões do conhecimento têm uma relação tão próxima.

As representações simbólicas estão localizadas em um sistema simbolizado pela linguagem química, em que a linguagem visual se utiliza de ícones associados à dimensão atômico-molecular e símbolos para representar as várias propriedades e o comportamento das substâncias identificadas e descritas na dimensão fenomenológica. Já as representações algébricas colocam a química em uma posição mais complexa ao se utilizar de fórmulas e gráficos (TALANQUER, 2011).

Wartha e Rezende (2015, p. 62) consideram representações simbólicas: os símbolos propriamente ditos, os gráficos, modelos e imagens tais como átomos, íons e moléculas (dimensão atômico-molecular), enquanto que “os mecanismos e as equações químicas, além de funcionarem como ferramentas no trabalho do químico”, têm a função de linguagem que

“permite a mediação e a comunicação de conteúdos”, estando em uma outra dimensão, que não a dimensão atômico-molecular.

A dimensão representacional pode ser útil à medida que se pode descrever, explicar e prever as propriedades químicas, sendo uma manifestação de outras dimensões do conhecimento atômico-molecular ou fenomenológico.

Então um modelo de ligação metálica pode ser representado na dimensão atômico-molecular por íons positivos e os elétrons através de modelos bidimensionais de figuras clássicas ou partindo de novos conceitos, ou ainda por modelos tridimensionais. Já a construção simbólica para a representação das substâncias metálicas pode ser apresentada em forma de imagens de objetos presentes no cotidiano do indivíduo, mostrando um conhecimento tangível e convencional.

#### **4.4 Dimensão sócio-histórica**

A abordagem das dimensões do triângulo proposto por Johnstone (1991) é importante para a realização de um estudo dos componentes que representam a aprendizagem da química, ao justificar a construção do conhecimento sob a visão da química, bem como em sua fundamentação para o ensino, tornando-se um desafio à transposição e à mediação do pensamento químico para que possa fazer sentido ao indivíduo que não tenha contato permanente com a química pura de laboratório (CHITTLEBOROUGH, 2014).

Por isso, ao confrontar o pensamento cotidiano com o conhecimento químico adquirido, como forma de novo conhecimento, o indivíduo precisa reorganizar as ideias para que possam fazer sentido. Assim, o que é ensinado nem sempre é o que está sendo aprendido, quando a organização não é efetivada.

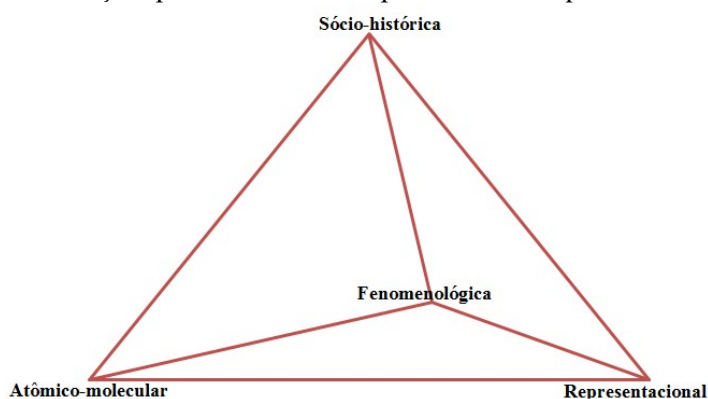
Esse tipo de dificuldade tem sua origem na aprendizagem humana em sua esfera social, toda a conjuntura de vivência de mundo, partindo do pressuposto do que o indivíduo já sabe, do esforço despendido para a aprendizagem e do que é ensinado. Logo, torna-se preciso ter uma atenção mais aguçada para a estrutura intelectual do estudante e do professor (JOHNSTONE, 2000).

Entretanto, se tal concepção compreende somente o aspecto científico do conhecimento deixando de lado a dimensão humana no processo, a aprendizagem não é favorecida. Nesse sentido, Peter Mahaffy (2004) propõe uma modificação na estrutura triangular, incluindo mais um vértice, o elemento humano, o que se entende pela dimensão

sócio-histórica (Figura 4), configurando assim um tetraedro – figura geométrica espacial composta por quatro vértices e quatro faces.

A inclusão da dimensão sócio-histórica na formação do tetraedro contribui para perceber a construção do conhecimento científico, suas implicações tecnológicas, ambientais, sociais, políticas e econômicas, colocando a química na margem da discussão da influência do homem sobre o ambiente e as possíveis consequências que têm como objetivo a inserção de uma “teia de contextos humanos para a aprendizagem química” (MAHAFFY, 2004, p. 230), inserindo os estudantes em sociedade e aprendendo de forma integralizada, o que se torna um avanço para o estudante de química ao perceber sua própria aprendizagem.

**Figura 4** - Proposta de educação química tetraédrica para ensino de química



**Fonte:** Adaptado de Mahaffy (2004).

Mahaffy (2004) coloca o ensino de química em um patamar das dimensões espaciais, da necessidade de discussões a respeito da relação do homem com o ambiente e as necessidades da vida moderna. Nessa abordagem, além da relação do homem com o ambiente, os estudantes e professores aparecem como uma dimensão sócio-histórica.

A dimensão sócio-histórica (elemento humano), por ser uma teoria abrangente e embora não esteja propriamente no campo conceitual, atua na formação de uma perspectiva crítica do conhecimento, sobre aplicações e implicações sociais. Explica os aspectos estruturais que se refletem na aprendizagem das propriedades fenomenológicas e dão consciência à ação humana na relação homem-natureza.

Mahaffy (2004, p. 229) dá ênfase à “importância, tanto do estudante, quanto da rede de conexões humanas para reações e processos químicos” na aprendizagem, ampliando assim as relações possíveis do ensino de química.

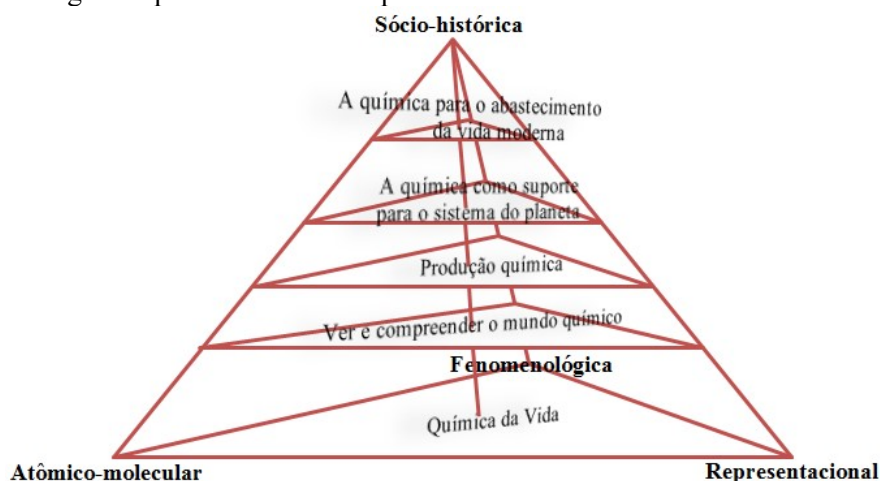
Dessa forma, a dimensão sócio-histórica torna-se uma

“Rica teia de considerações econômicas, políticas, ambientais, sociais, históricas e filosóficas, tecidas na compreensão dos conceitos químicos, reações e processos que ensinamos aos nossos estudantes e ao público em geral” (MAHAFFY, 2004, p. 231).

Por sua vez, tais aspectos estão intrinsecamente ligados ao indivíduo que aprende química. Nesse caso, observamos o movimento no tetraedro em que a dimensão sócio-histórica, proposta por Mahaffy (2004), se distribui para os vértices da sua base fenomenológica, atômica-molecular e representacional na forma de subcategorias.

Essas subcategorias foram propostas por Mahaffy (2004), em seu artigo *The future shape of chemistry education*, justificando assim a abordagem da dimensão sócio-histórica. Conforme sumarizado na Figura 5, o autor emprega uma metáfora do tetraedro para o ensino de química. O ordenamento dessas subcategorias é ilustrativo, e a correlação entre as dimensões se torna evidente à medida que se coloca o indivíduo como ser ativo de sua aprendizagem.

**Figura 5** - Subcategorias que se distribuem a partir da dimensão sócio-histórica aos outros vértices



**Fonte:** Adaptado de Mahaffy, 2004.

Dentro dessa metáfora, tal dimensão é distribuída em cinco subcategorias aqui apresentadas, segundo Mahaffy (2004) como: A química para o abastecimento da vida moderna; A química como suporte para o sistema do planeta; Produção química; Ver e compreender o mundo químico; e, Química para a vida. Essas subcategorias serviram de embasamento teórico para a análise do conteúdo de ligação metálica neste trabalho e são detalhadas a seguir.

#### 4.4.1 A química para o abastecimento da vida moderna

Historicamente, o ser humano empreendeu modificações na matéria de modo a atender suas necessidades vitais. Desde a criação do fogo, as modificações passaram a ser constantes e aceleradas, fato que tem exigido cada vez mais recursos naturais e artificiais de modo a manter a vida e suas facilidades modernas. Nesta conjuntura, a química teve e tem um papel

central, haja vista ser a ciência responsável pelo estudo da constituição, das propriedades e das transformações da matéria.

A discussão de uma química para o abastecimento da vida moderna está embasada na premissa de que a sociedade necessita de matéria-prima para a produção dos artefatos tecnológicos e materiais que existem nos dias atuais. Nesse sentido, os aspectos econômicos, políticos e ambientais que se relacionam ao desenvolvimento dos materiais passam a ser temática importante no estudo da química e devem estar presentes nos livros didáticos.

Compreender a origem dos recursos energéticos e tecnológicos na manutenção da vida moderna, bem como seus impactos sociais e ambientais precisa ser tema de debate nas aulas de química, tanto quanto as questões conceituais (MAHAFFY, 2004).

Tomando-se como exemplo a temática dos metais, foco deste trabalho, os processos extrativos, seus custos e impactos ambientais também passam a ser objeto de estudo, bem como as necessidades humanas desses materiais. Partindo do pressuposto de que não se concebe a vida atual sem o uso dos metais (em utensílios domésticos, na construção civil, nos chips e telas de computadores e *smartphones*, dentre outros), é fundamental conhecer a obtenção de matéria prima, os processos de produção dos bens e materiais de consumo, assim como os desdobramentos desses processos no planeta, como os processos energéticos que envolvem a usabilidade de tecnologias e equipamentos no cotidiano.

A energia elétrica ainda é mais comumente utilizada pelo homem. Assim, a condutibilidade elétrica torna-se um tema interdisciplinar e seu conhecimento implica em discutir sobre a energia nos materiais, o que é provável que seja assunto abordado em sala de aula ou em conteúdos nos livros didáticos, tais exemplos como a utilização de materiais para transformação de energia térmica em elétrica e vice-versa, uso de energia solar e placas voltaicas, entre outros tipos (MAHAFFY, 2004).

Essa abordagem tem importância no processo pedagógico, à medida que possibilita uma discussão de aplicações e implicações da química na vida humana. Para Sjöstron (2013), o uso de exemplos de aplicações pode trazer a química mais próxima ao cotidiano dos estudantes, em especial, ao se destacarem os aspectos dos produtos de consumo, diferentes aplicações na saúde, tecnologia e ambiente.

Nessa subcategoria, a dimensão sócio-histórica está fortemente correlacionada à dimensão fenomenológica, por ressaltar diversos desafios e necessidades concernentes à química para a vida atual.

#### 4.4.2 A química como suporte para o sistema do planeta

Dentro dessa perspectiva, exige-se, por exemplo, que o estudante tenha um pensamento voltado à resolução de problemas ambientais sob a ótica da dimensão fenomenológica e consiga transpor o conhecimento para a dimensão atômico-molecular (entendendo as interações atômicas), pois os recursos que dão suporte ao planeta estão sendo consumidos de forma cada vez mais acelerada (MAHAFFY, 2004).

Como exemplo, pode-se citar a extração de minérios e seus impactos, sejam ambientais ou no consumo energético. O produto dessas extrações na forma de minérios tem fornecido matéria-prima para a produção de materiais de bens e consumo para o homem, especialmente em função das propriedades físico-químicas e materiais que lhes permitem a capacidade de moldagem e uso em diversas frentes (produção de joias, utensílios domésticos, armas, peças para máquinas, etc.), as quais podem vir a ser discutidas em livros didáticos.

Assim, o movimento presente no tetraedro do ensino de química tem maior ênfase ou concentra-se nessas duas dimensões para a formação do estudante que busca soluções para problemas, compactuando com uma ciência mais próxima do cotidiano e da cultura científica.

Existe nessa categoria uma correlação entre a dimensão sócio-histórica – fenomenológica e também sócio-histórica – atômica-molecular, em que estão presentes as discussões de limites usuais dos recursos do nosso planeta.

#### 4.4.3 Produção química

A produção química está atrelada à manipulação da matéria, pois, além da descoberta do cozimento de alimentos, o ser humano também aprendeu na antiguidade a realizar os processos de extração, produção e tratamento de metais (CHASSOT, 2000). À medida que foi realizado o domínio de alguns metais pelos povos antigos, está evidenciada a presença da atividade humana que produz algum tipo de objeto seja por transformação física seja por transformação química.

Os produtos da química têm sua origem fundamental na produção de novos compostos, principalmente na atualidade do século XXI. As estruturas dos compostos criados pela química se fazem mediante a repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade é a

capacidade de repetir um experimento, enquanto que a reprodutibilidade está ligada à capacidade de reprodução.

Os produtos da química são, em sua maior parte, bens de consumo. Vale salientar que todo processo químico está sujeito à alteração ou reorganização da estrutura da matéria, ou seja, são processadas através de reações químicas e geram novos materiais como forma de matéria-prima, até o uso do objeto com alguma finalidade pelo homem.

A indústria química e tecnológica tem contribuído significativamente para o progresso da humanidade, por exemplo, houve a revolução industrial e ainda recentemente o avanço tecnológico de máquinas e da computação, através da pesquisa e da produção científica. Ações da química em contexto com a sociedade produzem, além de conhecimento, melhor qualidade e comodidade para o ser humano (MAHAFFY, 2004, p. 238).

A criação química é o ponto central na transformação da matéria. Assim, conhecer o íntimo da matéria é ter uma relação próxima com a química e ter domínio da linguagem é saber representá-la (MAHAFFY, 2004). Os químicos se utilizam necessariamente da linguagem química para descrever e prever os processos químicos que geram os compostos químicos que podem ser produtos ou subprodutos de reações. Assim, é preciso conhecer os processos químicos que têm origem a partir de processos energéticos na construção da matéria, o arranjo dos átomos, suas reações e suas propriedades, tornando-se possível prever a organização da matéria que pode ser expressa através de modelos (NAHUM et al., 2008).

O conteúdo de ligação metálica vai desde os fatores humanos que ocasionam a exploração dos minerais, passando pela produção de matéria-prima, chegando à utilização dos metais na indústria, até o consumidor. O envolvimento das esferas sociais, econômicas e culturais, assim como o gasto energético utilizado no processamento, são propostas para uma nova visão do ensino de química, podendo ser observado seu aspecto histórico e atual na forma de discussões pertinentes em livros didáticos de química.

Os aspectos econômicos, a produção de bens e materiais, assim como a forma de lidar com a capacidade de intervir no ambiente, influenciam profundamente a cultura de uma população, a exemplo, o tungstênio usado em bisturis e filamentos de lâmpadas, o alumínio das embalagens de bebidas, o lítio utilizado em pilhas, baterias e até em medicamentos, assim como também o ferro, com infinitas aplicações na indústria, o ouro utilizado em joias, e tantos outros metais. Essas são questões que podem estar presentes em livros didáticos de química e vir a contribuir para a formação dos estudantes.

Para Mahaffy (2004), o indivíduo deve conhecer todos os processos que envolvem a produção dos bens de consumo dos quais se utiliza, desde a origem, a forma como foi

produzido, comercializado, e inclusive o destino final, pois assim teremos um sistema que dará suporte, não apenas ao planeta, mas aos seres humanos, em uma relação homem-natureza.

Na abordagem dessa subcategoria, é colocado que o indivíduo conheça e estabeleça as relações das dimensões fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional, numa correlação de situar-se como produtor e interlocutor da sociedade em um processo histórico e social.

Assim, essa subcategoria tem uma correlação entre a dimensão sócio-histórica (ação de produzir) e atômico-molecular (produção), fenomenológica (produto) e teórico-representacional (representações da Química). Por uma abordagem dessa subcategoria, o professor, em sala de aula, pode debater com os estudantes a relação direta da utilização dos metais pela sociedade com o aspecto econômico, na produção de bens e materiais, consequentemente na mudança cultural que vem ocorrendo na população.

#### 4.4.4 Ver e compreender o mundo químico

No ponto central das discussões, o ensino da química tem como pressuposto que o estudante deve ter o domínio da linguagem química. Conhecer as substâncias que estão constantemente presentes na sociedade, suas estruturas, propriedades e as reações que as transformam, tornará o estudante situado na dimensão sócio-histórica (MAHAFFY, 2015).

Pelo domínio da linguagem química, os estudantes podem ter sua aprendizagem química facilitada, ao passo que o professor tenha uma abordagem que o ajude a ver e compreender o mundo químico, sendo o livro didático de química como interlocutor entre o professor, o estudante e o conteúdo de ligação metálica que pode ser explicado por uma abordagem conscientizadora, na discussão que evidencia os materiais metálicos presentes no cotidiano. Cabe o aprofundamento do conhecimento desses materiais, de forma que seja explicado e justificado o uso para o homem.

Com uma formação conscientizadora, conhecendo as diferentes representações da matéria, formas de interação de seus constituintes e transpondo esse conhecimento para o cotidiano, o estudante pode assim vir a ter noção real da finalidade e aplicabilidade das propriedades dos metais e suas aplicações no cotidiano, bem como saber qual o destino final dos materiais utilizados em decorrência do conhecimento adquirido durante o período escolar.

Surge assim a necessidade de uma discussão mais ampla em contexto com a química acerca dos aspectos conceituais, os aspectos históricos e os aspectos relacionados às



propriedades dos metais apresentados nos livros didáticos, sem negligenciar as necessidades da sociedade (TALANQUER, 2011, p. 186).

A essa subcategoria também pode ainda “revelar os modelos mentais dos estudantes, incluindo conceitos errôneos de longa data, como a natureza da estrutura eletrônica do núcleo, muitas vezes representada por estudantes em imagens” (MAHAFFY, 2004, p. 239), dinâmicas e em forma de arte, o pensamento, bem como as concepções dos estudantes que estão marcadamente mais presentes nessa subcategoria, em que melhor representaria a dimensão sócio-histórica do tetraedro, estendendo-se para as outras dimensões.

As representações podem ser expressas “por meio de uma pintura, de uma fotografia, de um diagrama, de uma equação, de uma fórmula, de um texto, de uma expressão oral” (WARTHA; REZENDE, 2015, p. 277). Assim, as imagens criadas pelos estudantes “dão um vislumbre revelador nos processos de pensamento e concepções que os estudantes têm” (MAHAFFY, 2004, p. 239), evidenciando as dimensões teórico-representacional, fenomenológica e atômico-molecular (em representações subatômicas) para essa subcategoria.

No ensino de química é importante que as visualizações ou animações sejam interpretadas por todos os estudantes buscando-se por suas explicações para os fenômenos. As visualizações podem ser definidas “como a formação e manipulação de representações visuais mentais de um fenômeno físico, evento, objeto, processo ou sistema” (CHENG; GILBERT, 2014). Por isso, surgem a cada ano melhores teorias e práticas sustentadas por “profissionais de visualização e pesquisadores em ciência da visão, psicologia cognitiva e neurociência, avaliação, ciências físicas, biologia e educação” (MAHAFFY, 2004, p. 241).

Desse modo, o livro didático entra como recurso e interlocutor imagético que pode tanto dar suporte ao professor quanto influenciar a aprendizagem do estudante, que contém a linguagem química e é mediada pelo professor para promover a aprendizagem por parte do estudante.

Dessa forma, “os estudantes que não se especializam em ciência muitas vezes precisam de uma grande ajuda” (MAHAFFY, 2004, p. 232) com a dimensão representacional. Esse tipo de suporte pode ser auxiliado pelo professor e/ou muitas vezes pode ser encontrado no livro didático, o que não tira a autonomia do estudante em aprender química por conta própria, assim reforçando a importância da clareza sob a qual os conteúdos devem ser tratados.

A subcategoria revela uma correlação em que o estudante compreende, mediante o uso da dimensão teórico-representacional, as características presentes nas dimensões

fenomenológica e atômico-molecular. Assim é necessária uma constante avaliação dos modelos utilizados para o ensino da ligação metálica nos livros didáticos (JUSTI, 2011).

#### 4.4.5 Química para a vida

Tratando-se da subcategoria, Mahaffy (2004) relata estar de acordo com as ideias de Emil Ficher (Prêmio Nobel de Química em 1901), segundo as quais deve haver uma mudança para que a química se estenda aos grandes problemas da Biologia, assim o currículo poderá abordar uma nova interface, para que o estudante possa compreender os mecanismos químicos pelos quais os processos biológicos ocorrem, produção de fármacos naturais e fórmulas, assim como sua atuação no organismo.

Fazendo uma transposição de ideias para o Ensino Médio ao abordar essa interface, o professor pode trabalhar com os estudantes as plantas medicinais populares da localidade e comparar sua eficácia em relação aos medicamentos que são vendidos em farmácias. Isso faz com que os estudantes reflitam sobre a extração do medicamento pelos laboratórios e comercialização das substâncias com foco nas dimensões fenomenológica e atômico-molecular.

Observa-se que, embora Mahaffy (2004) não tenha abordado os metais de forma específica, os metais estão presentes nos organismos vivos na forma elementar. A exemplo, temos: a presença de ferro na composição da hemoglobina em animais; na clorofila em plantas se encontra o magnésio; o cálcio em forma de cristais (substâncias sólidas) na formação de dentes e ossos, em cálculos dos rins e de vesícula (TEIXEIRA, 2000).

A subcategoria toma para si, de acordo com Mahaffy (2004), os problemas envolvendo a Biologia em uma correlação com a dimensão fenomenológica que está sempre presente, existindo também a correlação com a dimensão atômico-molecular para os grandes problemas e soluções dessa ciência.

Uma questão a ser refletida é o uso de uma abordagem que tenha nos livros didáticos a presença dos metais com a relação da importância com os organismos dos seres vivos, o que acaba, de certa forma, tirando o dinamismo do conteúdo de ligação metálica e deixa-se de fazer uma ponte entre esse conteúdo e outras ciências, como a Biologia e a Física do Ensino Médio.

## 5 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é de natureza qualitativa, e tem como objeto de estudo as quatro coleções dos Livros Didáticos de Química destinados ao Ensino Médio, aprovados pelo PNLD 2015. As coleções receberam os códigos de L1 a L4 para sua identificação. Foi realizado um recorte do conteúdo de ligação metálica para uma análise mais precisa.

Para a análise do conteúdo de ligação metálica, além de ser considerada a presença da abordagem das dimensões do conhecimento da base do tetraedro, no conteúdo de ligação metálica, foi observada e discutida também a correlação com as subcategorias da dimensão sócio-histórica.

Dessa forma, buscou-se operacionalizar e sistematizar a pesquisa em análise de conteúdo. Para isso, foram utilizadas as colocações de Bardin (2011), seguindo as etapas:

(i) Escolha dos documentos: Inicialmente foi realizada uma pré-análise do material, por meio da leitura do conteúdo de ligação metálica do livro didático;

(ii) Formulação de hipóteses e objetivos: Foi realizada a leitura orientada para a identificação das abordagens de ensino utilizadas pelas obras para apresentar e discutir a composição da ligação metálica, propriedades e aplicações dos metais, bem como suas estratégias de ensino.

(iii) Elaboração de indicadores que fundamentaram o tratamento dos resultados, inferências e interpretações: para isso as discussões foram realizadas com embasamento teórico, fundamentado em autores de artigos e livros especializados na temática abordada deste trabalho.

(iv) Decomposição e reagrupamento do conteúdo: Na sequência, foi realizada uma análise por decomposição das estruturas textuais e visuais (imagens) de forma a reagrupá-las em categorias – as quatro dimensões do conhecimento apresentadas nesse trabalho – e subcategorias em comum – colocadas como aspectos de análises em quadros no início de cada subseção e discutidos em seguida juntamente com o conteúdo analisado.

Para a análise da dimensão sócio-histórica, inicialmente foram utilizadas as subcategorias propostas por Mahaffy (2004). No entanto, essas subcategorias foram adaptadas para os objetivos deste trabalho.

A análise buscou compreender o movimento que acontece nas relações que os livros didáticos fazem entre as dimensões fenomenológica, atômico-molecular, representacional e sócio-histórica, ao abordar o conceito de ligação metálica.

É importante destacar que a dimensão assumida por uma representação é adotada de acordo com o olhar do pesquisador por ser subjetiva, não podendo ser tomada como verdade, mas pautada por parâmetros que possam auxiliar a mensuração, de acordo com a postura teórica assumida pelas definições colocadas anteriormente.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A organização sequencial do conteúdo no livro didático de química, em geral, se dá por capítulos e subcapítulos. Os livros seguem praticamente o mesmo padrão, organizados em capítulos e tópicos. A Figura 6 mostra o número total de páginas por obra. Entre parênteses estão a quantidade de páginas analisadas por cada obra, a respeito do conteúdo. No L1 foram analisadas as páginas 304, 305 e 306 referentes à ligação metálica. No L2 o tema compreende as páginas 298, 299 e 300. No L3 o conteúdo é bordado apenas na página 253. E no L4 o conteúdo de ligação metálica está presente nas páginas 151 e 152.

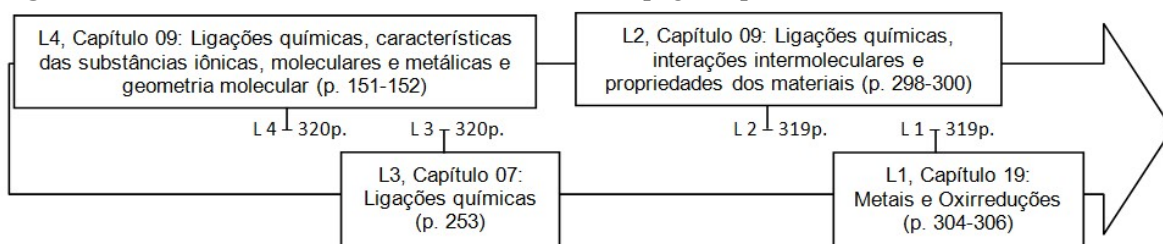
Entretanto, cada livro apresenta algumas variações em relação a organização do conteúdo de ligação metálica. No livro 1, por exemplo, o conteúdo está organizado em capítulos e tópicos como subseções, sendo o conteúdo de ligação metálica apresentado no capítulo 19. O primeiro tópico nesse capítulo mostra uma lista de propriedades dos metais, já o segundo tópico, aborda o tema em específico.

O Livro 2 está dividido em capítulos e subdividido em textos temáticos. O conteúdo está no capítulo 9, sendo abordado no texto quatro.

O livro 3 é dividido em capítulos e subseções, estando o conteúdo de ligação metálica no capítulo 7 e localizado na subseção dez.

O livro 4 também está dividido em capítulos e subseções numeradas, estando o conteúdo de interesse desse trabalho localizado no capítulo 5 e subseção quatro.

**Figura 6** - Localização do conteúdo e número total de páginas por obras analisadas



**Fonte:** O autor.

Dessa forma foram analisados os conteúdos de ligação metálica presentes nos livros didáticos de química aprovados pelo PNLD 2015.

Levando em consideração os objetivos e metodologia do trabalho, os resultados e discussão foram separados em quatro categorias, as dimensões fenomenológica, atômico-molecular, teórico-representacional e sócio-histórica.

## 6.1 Dimensão fenomenológica

A dimensão fenomenológica observada no livro didático é quase exclusivamente de natureza descritiva das características, enfocando as propriedades dos materiais metálicos de forma tangível e seus aspectos voltados à funcionalidade e aplicação dos materiais (TALANQUER, 2011). Essa dimensão apresenta uma forte relação com um mundo tangível, em que a percepção do indivíduo é uma das formas de ver um fenômeno. Assim, a matéria é percebida pelo indivíduo de forma tangível, podendo estar relacionada à dimensão sócio-histórica.

O Quadro 2 mostra alguns aspectos que foram observados enquanto análise do conteúdo de ligação metálica foi considerado. Os aspectos elencados foram: a natureza descritiva em relação ao uso de imagens sob a ótica da dimensão fenomenológica; a descrição da funcionalidade e aplicação dos materiais metálicos; o uso das imagens com abordagem na dimensão fenomenológica, uso de quadros; retomada de significados; e, classificação das substâncias puras e as ligas metálicas.

**Quadro 2** – Aspectos analisados no conteúdo de ligação metálica sob a ótica da abordagem da dimensão fenomenológica

<b>Aspectos analisados para a dimensão fenomenológica</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
Natureza descritiva	x	x	x	x
Classificação dos materiais em substâncias puras ou ligas metálicas		x		x
Funcionalidade e aplicações dos materiais	x	x	x	x
Uso de imagens com abordagem fenomenológica	x	x	x	x
Quadros descritivos e com funcionalidades	x			x
Retomada de significados por abordagem fenomenológica		x	x	

Fonte: O autor.

Para apresentar as propriedades, os livros didáticos se utilizam basicamente de imagens (L1, L2, L3 e L4) e quadros (L1, L4). Embora todos os livros discorram sobre as propriedades dos metais e ligas metálicas de forma geral, entre outras propriedades, abordam principalmente a maleabilidade, ductibilidade e condução elétrica.

Os livros também fazem retomada de significados (L2 e L3) para introduzir novos conceitos. O L2 faz retomada de conhecimentos ao citar os elementos metálicos da tabela periódica e fazer comparação da ligação covalente com a ligação metálica. O L3 cita um experimento proposto anteriormente para comparar as ligações iônica e covalente com a ligação metálica.

As imagens utilizadas nos livros L2 e L4, Figuras 7, 8, 9, 10, são recursos utilizados nas obras com aporte e discussão tecnológica por uma química para o abastecimento da vida moderna (MAHAFFY, 2004, 2015) em correlação com o que pode estar situada em uma dimensão fenomenológica, buscando apresentar aplicações de sólidos metálicos.

Os livros L2 e L4 também classificam os tipos de materiais ou substâncias metálicas em: (i) metais de um único elemento (simples) e (ii) ligas metálicas (misturas homogêneas). A classificação dos materiais pode ser de utilidade para o ensino, pois evidencia uma diferença de categorização das estruturas para cada substância e, posteriormente, ao abordar o conteúdo sob o olhar da dimensão atômico-molecular.

A seção intitulada Propriedades das substâncias metálicas (L2) é organizada de forma textual e com imagens exemplificando algumas propriedades (maleabilidade e ductibilidade, condução de eletricidade e calor, temperatura de fusão, solubilidade e densidade).

As propriedades retratadas no L2, de maleabilidade e ductibilidade, na presente obra, são fundamentadas pela discussão sobre a tensão mecânica que os metais são capazes de suportar. É colocada uma imagem de folhas de alumínio ao lado de outra imagem de fios do mesmo material, Figura 7, com a legenda: “os metais podem ser facilmente transformados em lâminas, fios e tubos, possibilitando o uso em diversas áreas” (p. 299), mostrando que a maleabilidade pode favorecer a moldagem de certos materiais e evidenciando uma das propriedades dos metais.

**Figura 7** - Utilização de imagem para representar a propriedade de maleabilidade



**Fonte:** Livro 2 (p. 299).

O L2 utiliza também uma imagem, Figura 8, com a legenda: “metais são bons condutores de eletricidade, sendo, por isso, usados na fabricação de fios” (p. 300). O uso dessa imagem, de cabos e torres de metal, relatando que ocorre condução de eletricidade, indica uma química para o abastecimento da vida moderna, pois com o avanço da tecnologia tem-se uma maior demanda de recursos energéticos, o que aponta para uma dimensão sócio-histórica (MAHAFFY, 2004).

**Figura 8** - Utilização de imagem para citar condutibilidade elétrica dos metais



**Figura 9.20**  
Metais são bons condutores de eletricidade, sendo, por isso, usados na fabricação de fios.

**Fonte:** Livro 2 (p. 300).

O L2, além de mostrar os materiais que evidenciam a maleabilidade, mostra também torres e cabos de fiação elétrica. Ambas as imagens fazem sentido por serem comuns do cotidiano, tanto para o professor, quanto para o estudante. O que denota a funcionalidade da aplicação desses materiais representados pela dimensão fenomenológica e implicitamente pela dimensão sócio-histórica.

Ao utilizar-se de imagens que têm o potencial de comunicar algo ou objetos, o livro didático oferece diferentes meios de mostrar a interação entre o mundo dos materiais metálicos para os estudantes, indicando a natureza desses materiais como ideias da ocorrência de fenômenos (SILVA; BRAIBANTE; PAZINATO, 2013).

O L3 utiliza um experimento de condutibilidade elétrica (proposto em capítulo anterior) para estabelecer conexão com o conteúdo apresentado que comprova a condução de eletricidade em algumas substâncias. Experimentos simples de laboratório, ou mesmo em sala de aula, podem ser usados para introduzir uma forma de ver e compreender o mundo químico sob um processo de dimensão sócio-histórica (MAHAFFY, 2004).

Os experimentos valorizam a interação humana entre os próprios estudantes e entre estudante e professor. O que requer uma interação entre estudante, professor e livro didático, além de despertar as concepções reflexivas nos educandos pela dimensão fenomenológica, por ser algo tangível (MAHAFFY, 2004; TALANQUER, 2011).

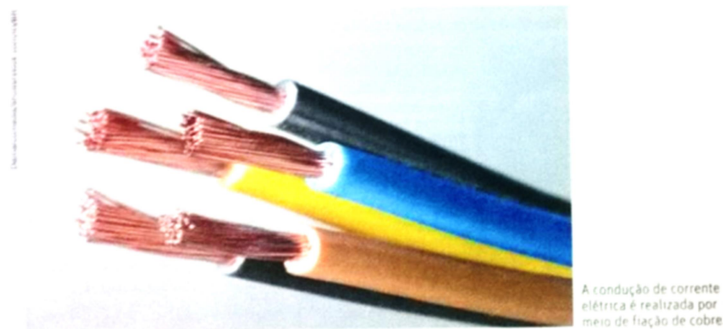
A integração entre os aspectos fenomenológicos e conceituais é um ponto importante, uma vez que permite ao leitor estabelecer correlações entre o modelo e seu uso para a interpretação do fenômeno. De acordo com Chittleborough (2014), os fenômenos vivenciados pelos estudantes através dos sentidos revelam que se utiliza de elementos tangíveis com mais frequência em sua aprendizagem, evidenciados em situações didático-pedagógicas. Assim, podem ser útil para uma retomada de significados posteriormente.



No L4 a primeira imagem retrata o detalhe de fios desencapados, mostrando a parte metálica da qual é composta o fio elétrico (Figura 9) e tem como legenda “a condução de corrente elétrica é realizada por meio de fiação de cobre” (p. 151).

Dessa forma, por meio do uso de imagens, inseridas no livro didático, os estudantes podem ter compreensão da utilização dos metais e suas ligas, estabelecendo uma associação entre a dimensão fenomenológica e, posteriormente, com a dimensão atômico-molecular partindo de imagens pelos diferentes modos de representações (CHENG; GILBERT, 2009, 2014).

**Figura 9** - Imagem que enfatiza a condutibilidade elétrica em fios



**Fonte:** Livro 4 (p. 151).

A segunda imagem apresentada pelo L4 explora a imagem de um fusível acompanhada de uma descrição da função do objeto para exemplificá-lo (Figura 10), podendo auxiliar no reconhecimento da usabilidade dos metais como meio tecnológico em sua formação e desenvolver uma consciência de uma química para o abastecimento da vida moderna, pautada numa dimensão sócio-histórica (MHAFFY, 2004).

O uso de uma imagem pode ter diferentes abordagens, nesse caso, é atribuída à dimensão fenomenológica para se discutir a propriedade de maleabilidade, por se tratar de um objeto tangível e de fácil compreensão pelo estudante ao perceber a existência da condução de corrente elétrica pelo material citado, assim constituindo uma química para o abastecimento da vida moderna (MAHAFFY, 2004).

**Figura 10** - Materiais presente em imagem que evidência um objeto formado a partir de uma liga metálica



**Fonte:** Livro 4 (p. 152).

As imagens visam destacar as propriedades dos materiais e se configuram como uma boa estratégia para o ensino de química, enfatizando aspectos da dimensão fenomenológica na tentativa de conferir relevância para aprendizagem (TALANQUER, 2011).

As imagens podem favorecer a aprendizagem do estudante, no entanto sua interpretação com detalhes é uma abertura para muitas discussões a respeito do uso dos metais, exigindo exatidão visual e espacial dos estudantes (CHENG; GILBERT, 2014).

Em relação a outras propriedades como temperatura de fusão, o L2 cita como exemplo os valores baixos do mercúrio, que é líquido a temperatura ambiente, o tungstênio com “temperatura de fusão de aproximadamente 3 680 °C” (p. 300), exemplificando sua utilidade em filamentos de lâmpadas e ferramentas de corte, a solubilidade é citada observando seus aspectos de polaridade e reação com ácidos fortes.

A densidade dos metais é citada no L2 para justificar a estrutura compacta e redução de volume dos sólidos metálicos em comparação a substâncias moleculares, iônicas ou covalentes, pelo fato do "arranjo cristalino dos metais", ser geralmente "bastante compacto", colocando os valores das massas atômicas, densidades e temperatura para o alumínio, e para platina. O uso dessas propriedades concatena-se à química como suporte para o sistema do planeta.

Em se tratando da química como suporte para o sistema do planeta, o L2 coloca uma imagem da transferência de mercúrio (metal líquido em temperatura ambiente) entre dois béqueres (Figura 11), para discutir a densidade dos metais. No entanto, não chama a atenção para as características do metal, nem aponta para alguma aplicação.

**Figura 11** - Imagem de mercúrio, evidenciando o estado de agregação do metal



**Figura 9.21**  
O mercúrio é um metal líquido à temperatura ambiente.

**Fonte:** Livro 2 (p. 300).

O estudo que torna evidente o uso dos materiais metálicos e suas ligas leva a crer que cada vez mais é necessária uma discussão que conscientize os estudantes a interagir com a sociedade de forma crítica, tendo a plena consciência dos materiais que utilizam e conhecendo

os processos desde sua extração, fabricação, utilização, até o descarte correto do que foi produzido inicialmente.

Essa abordagem apresentada pelo L2 mostra que além dos metais serem sólidos cristalinos, pode existir em fase líquida com densidades e temperaturas diferenciadas. O estudo das propriedades contribui para o aprofundamento da aprendizagem do conhecimento químico relativo aos metais e da ligação metálica, ajudando a elucidar alguns equívocos, visto que alguns estudantes descrevem que a ligação metálica é formada por cátions e elétrons, porém, os elétrons se movimentam "apenas na superfície da estrutura metálica" (FERREIRA; FERNANDES; CAMPOS, 2016).

O uso das imagens como meio de facilitar as explicações relacionando-as ao cotidiano é muito comum em livros didáticos e permite aproximar o conhecimento químico a realidade do estudante através da dimensão fenomenológica (JOHNSTONE, 1991; MAHAFFY, 2004, 2015; TABER; COLL, 2002).

No entanto, a transição entre as dimensões fenomenológica (das propriedades) para a dimensão atômico-molecular (da ligação metálica) tem por base o uso de modelos para a explicação das propriedades e discussão do aprofundamento do conhecimento científico.

Apesar da relevância das funções didáticas das imagens, em diversas situações, estas ainda são utilizadas pelos LD de maneira superficial, não satisfazendo as necessidades dos estudantes na compreensão de muitos conteúdos (SILVA; BRAIBANTE; PAZINATO, 2013).

Dessa forma uma abordagem através da dimensão fenomenológica recorrente a matéria, na qual, através de processos descritivos podem ser constatados os fatos, pode também oferecer meios significativos, tanto para o posterior aprofundamento do conhecimento utilizando-se de outras dimensões, tal como atômico-molecular e teórico-representacional (TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003), quanto para uma discussão mais abrangente envolvendo a dimensão sócio-histórica (MAHAFFY, 2004), pois nessa discussão aparecem os objetos construídos a partir da matéria (das partículas atômicas, subatômicas e moleculares) e materiais que são utilizados no cotidiano dos indivíduos na sociedade.

## **6.2 Dimensão atômico-molecular**

A dimensão atômico-molecular é pautada no uso de modelos para explicar o íntimo da matéria. Para além dos processos descritivos, o uso de modelos tem duas funções principais: uma é interpretar as propriedades macroscópicas, o que permite explicar em termos teóricos

os resultados experimentais e propriedades, e outra é a função didática, isto é, uma ferramenta que auxilia o pensamento para a compreensão da ciência química.

É necessário conhecimento dos modelos para exercer essa função didática no ensino e na aprendizagem da química, uma vez que a dimensão atômico-molecular tem relação direta com a dimensão teórico-representacional através do uso de modelos, pode facilmente ser confundida a primeira com a segunda.

Assim, o objeto em si estaria relacionado à dimensão atômico-molecular (representação desses modelos) e a forma com a qual se discute e se faz inferências acerca da complexidade desse objeto estaria relacionada à dimensão teórico-representacional (WARTHA; REZENDE, 2017, 2015).

O uso de modelos para o ensino da ligação metálica é recorrente nos livros de química do Ensino Médio, embora não se apresentem de forma clara, alguns dos aspectos analisados sob a ótica da dimensão atômico-molecular pode mostrar como os conteúdos são apresentados, dessa forma, alguns aspectos de maior relevância são descritos a seguir no Quadro 3.

**Quadro 3** - Aspectos analisados nos livros didáticos relacionados à dimensão atômico-molecular.

<b>Aspectos analisados</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>
Uso de modelos de ligação metálica		x	x	X
Relação dimensional – 2D		x	x	X
Uso do termo gás de elétrons		x		
Uso do termo mar de elétrons			x	X
Descreve ou justifica a ligação pela interação eletrostática				
Célula unitária	X		x*	
Apresenta vantagens e desvantagens do modelo apresentado				
Aborda a estrutura das propriedades dos metais		x		x*

\* Cita, porém não apresenta o modelo.

**Fonte:** O autor

### *Modelos*

No que tange ao uso de modelos empregados para a compreensão da ligação metálica, todos os livros estruturam a explicação com base na interação de átomos de um metal, cujos elétrons de valência se movimentam pela estrutura cristalina do metal formando cátions. E por assim dizer, fundamentando a ligação metálica por essa interação entre cátions e elétrons livres.

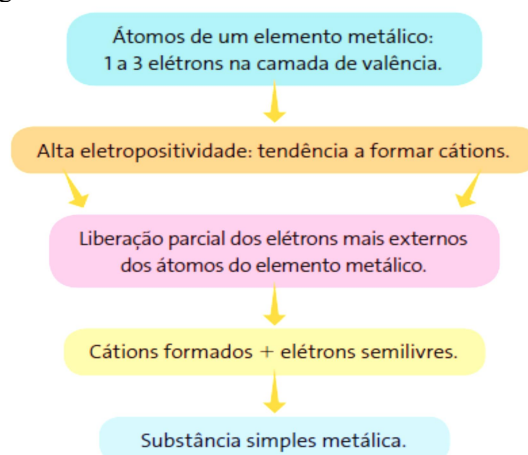
O foco na interação é considerado uma progressão ao longo de diferentes níveis de classificação e é mais valioso do que simplesmente descrever a estrutura (CHENG; OON, 2016). De tal forma, ter em vista a atração eletrostática mútua entre cada elétron e cada cátion

metálico pode ser útil na compreensão das propriedades de condutividade e maleabilidade que estão bem presente no conteúdo de ligação metálica.

Somente o L1 não utiliza a representação do modelo como função didática para auxiliar na compreensão da ligação metálica, descrevendo o comportamento dos elétrons (entidades subatômicas) na estrutura por meio de linguagem discursiva textual em um fluxograma (Figura 12), contendo palavras-chave para demonstrar a formação de uma substância metálica simples (metal puro).

As outras três obras buscam dar destaque à ligação metálica por uma abordagem da dimensão atômico-molecular, com o uso dos modelos em que as partículas são representadas (Figura 13), dando destaque para a presença dos cátions.

**Figura 12** - Utilização de fluxograma



**Fonte:** Livro 1.

Apenas a descrição de aspectos não observáveis pode ser insuficiente para que os leitores percebam as interconexões entre os conceitos-chave, em que vai da dimensão atômico-molecular (átomos de um elemento metálico) ao fenomenológico (substância simples metálica). Pensando na combinação de modos semióticos, o esquema associado ao uso de modelos seria importante na representação do conhecimento químico, ao se apresentar por uma dimensão fenomenológica ou sócio-histórica e ser visualizado sob a ótica da dimensão atômico-molecular.

O livro 2 traz uma imagem (Figura 13A) que mostra o átomo metálico imerso a uma “nuvem eletrônica”, segundo a obra. O modelo é representado mediante figura, relatando que “para qualquer lugar que o elétron se mova, encontra-se sempre entre dois núcleos positivos” (L2, p. 298).

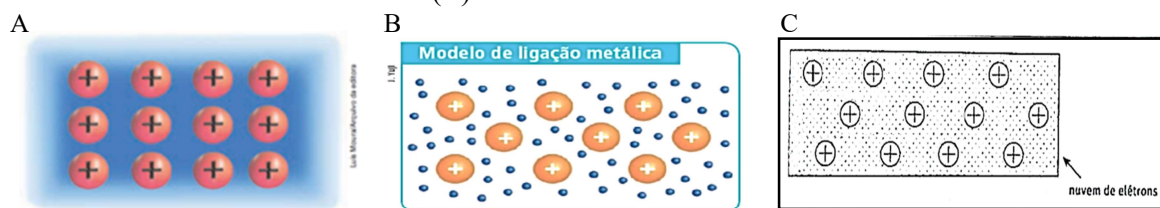
Já o movimento dos elétrons livres nesse modelo (L2) é apresentado pelo termo “gás de elétrons” para destacar o comportamento dos elétrons na estrutura cristalina dos metais, em substituição ao termo clássico “mar de elétrons” utilizados nas demais obras analisadas (L3 e

L4). Logo, se torna desafiador para os estudantes aprender novos conceitos metafóricos, principalmente quando suas concepções estão bem presentes no cotidiano por outros significados (CHENG; OON, 2016).

O L2 ainda faz menção aos químicos que foram motivados a propor um modelo para a ligação metálica, afirmando “um modelo de íons positivos, distribuídos na rede cristalina, imersos num ‘gás’ de elétrons, que não se encontram firmemente ligados a nenhum núcleo” (L2, p. 298 - destaque do autor). Assim, discute-se a localização dos elétrons sob o aspecto das dimensões atômico-molecular e teórico-representacional.

Cabe ressaltar que os modelos criados são representações que buscam explicar uma ideia da matéria e que muitas vezes estão condicionadas a tecnologia ou técnica empregada na análise dos materiais em estudo pelos químicos ou cientistas de uma época específica. Dessa forma, não se pode ignorar a historicidade da ciência para o entendimento dos conceitos e teorias da química.

**Figura 13** - Terminologias utilizadas pelos livros didáticos: Gás de elétrons (A), mar de elétrons (B), mar de elétrons ou nuvem de elétrons (C)



**Fonte:** Livro 2, Livro 3 e Livro 4, respectivamente.

O L3 utiliza o modelo clássico como “um possível modelo teórico para explicar a ligação metálica” (p. 254), Figura 13B, afirmando que se tem “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” (p. 254).

Assim, a explicação da ligação metálica é colocada através de um modelo bidimensional (2D), em que mostra círculos grandes e pequenos, no qual os cátions são tidos como esferas positivas rodeadas por elétrons (modelo clássico de ligação metálica).

Apesar dos modelos desempenharem uma função didática para o ensino na formulação do conhecimento, ao que parece, nesse tipo de modelo as interações eletrostáticas responsáveis pela estabilidade entre os cátions e elétrons na rede cristalina não chegam a ser enfatizadas nos livros didáticos (KARPIN; JUUTI; LAVONEN, 2014). Dessa forma, os estudantes podem não desenvolver uma compreensão dos modelos estruturais e do processo interacional da ligação metálica.

Ao assumir que tais dificuldades são oriundas do desconhecimento e da incapacidade em transitar pelas dimensões do conhecimento químico, a ausência ou pouco uso das representações corroboram tais dificuldades (NAKHLEH, 1994; GARNET; GARNET; HACKING, 1995). Isso acaba por deflagrar uma compreensão incompleta do assunto em questão. Logo, integrar essas três dimensões não é uma tarefa simples.

O L4 também se utiliza de uma imagem do modelo denominado na obra de mar de elétrons, apresentando um modelo bidimensional (2D) de ligação metálica (Figura 13C) no qual os “cátions dos elementos metálicos estão dispostos em um retículo cristalino e elétrons circulam livremente entre eles” (L4, p.151), enfatizando que os cátions “estão imersos nos elétrons livres”, o que “explica a condução de eletricidade”.

Os elétrons são representados nesse livro por pequenos pontos como plano de fundo. Já os cátions metálicos estão representados por círculos com sinal de carga positiva (representação do modelo clássico de ‘mar de elétrons’). Assim, o modelo clássico de ligação metálica é utilizado para justificar a propriedade de condução elétrica nos metais, uma propriedade idealizada sob a dimensão atômica-molecular, mas que é percebida pelos estudantes sob a forma da dimensão fenomenológica (CHENG; OON, 2016; TABER, 2003).

O modelo de ligação metálica deve ser visto por diferentes situações e oportunizar reflexões para que o estudante possa fazer inferências em busca de uma melhor compreensão (KARPIN; JUUTI; LAVONEN, 2014). A exemplo, Cheng e Gilbert (2014) colocam que os estudantes tenham a habilidade de visualizar mentalmente a interação dos elétrons deslocalizados e cátions metálicos (dimensão atômico-molecular) quando ocorre uma tensão mecânica (dimensão fenomenológica), podendo assim ver mentalmente os processos.

As representações colocadas nos livros possuem limitações, tanto nos aspectos visuais, quanto na forma de abordagem, pois não levam em consideração os aspectos que envolvem as forças de interação eletrostática, podendo surgir equívocos em sua interpretação ao tentar relacionar as características apresentadas pela dimensão atômico-molecular a fim de justificar as propriedades evidenciadas pela dimensão fenomenológica (CHITTLEBOROUGH, 2014; CROFT; BERG, 2014; FRANCISCO JUNIOR; FRANCISCO; SILVA, 2016).

Ainda que as forças eletrostáticas não sejam capazes de explicar todos os aspectos das ligações metálicas, não obstante a existência de modelos mais sofisticados calcados na mecânica quântica, uma abordagem introdutória para os modelos de ligações com base no efeito das forças elétricas pode ser considerada adequada (TABER; COLL, 2002), sobretudo ao se considerar o nível de ensino para o qual os livros estão destinados, os modelos podem

ser apresentados com discussões pertinentes, colocando-se as vantagens e desvantagens em diferentes contextos de ensino (JUSTI, 2011).

Tais abordagens implicam numa tentativa de trazer os modelos para explicar o significado de conceitos. Há intenção de estabelecer uma relação entre a dimensão fenológica, atômico-molecular e teórico representacional, lançando mão especialmente de modelos bidimensionais (imagens) como ferramentas (FRANCISCO JUNIOR; FRANCISCO; SILVA, 2016).

Refletindo em termos da formação de professores, é importante que se reconheçam os limites dos modelos clássicos da ligação metálica, inclusive como forma de se problematizar a transitoriedade e os modelos como uma representação próxima da realidade da matéria subatômica (SILVA; BRAIBANTE; PAZINATO, 2013).

Solbes e Vilches (1991) também reportaram que a discussão de limitações dos modelos de ligações químicas não é frequente em livros didáticos. Nos modelos de ligação metálica, os elétrons de valência se movimentariam livremente pela estrutura e seriam responsáveis pela condução elétrica. Assim, a quantidade de elétrons representada estaria superestimada pelos modelos apresentados nos livros didáticos (L3 e L4). Além disso, a dimensão dos elétrons seria outro problema (FRANCISCO JUNIOR; FRANCISCO; SILVA, 2016).

Nesse sentido, ainda que o livro didático busque a relação entre a dimensão fenomenológica (as propriedades) e atômica-molecular (os modelos), a imagem não condiz com tal relação. Logo, é importante para o professor sempre que puder analisar criticamente este aspecto e selecionar as imagens mais adequadas, que possam contribuir na construção do modelo e quando possível envolver os estudantes no processo.

### *Célula unitária e as propriedades dos metais e suas ligas*

Outro conceito utilizado nos livros didáticos de química que contribui para a aprendizagem da ligação metálica é o de célula unitária. A importância do uso da célula unitária representa uma possibilidade para assinalar aspectos estruturais dos metais. Na ligação metálica, o modelo é geralmente representado por um grupo de átomos e sua representação é chamada de célula unitária, que é a menor combinação de átomos, moléculas, ou íons que podem representar uma substância sólida (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006).

Dessa forma, o entendimento do conceito de célula unitária é fundamental para entender o arranjo da estrutura dos sólidos metálicos. Já o conjunto dessas células unitárias é



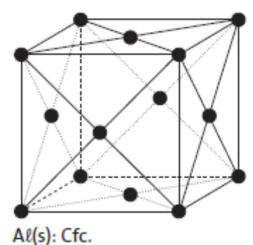
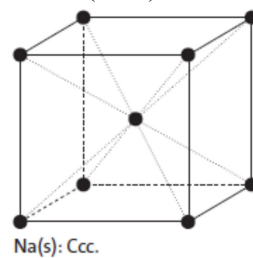
denominado de várias maneiras nos livros didáticos, tais como estrutura metálica e estrutura cristalina (L1), estrutura cristalina (L2), arranjo cristalino (L2, L3), rede cristalina (L2, L3), retículo cristalino (L3, L4) e retículo metálico (L4).

Ao discorrer sobre a estrutura da matéria, é importante fornecer a informação necessária para que o estudante compreenda como ocorre sua formação e como está organizada (CROFT; BERG, 2014). Os quatro livros têm diferentes formas em que apresentam os metais que se dispõem como cristais. Os livros L1, L3 e L4 não estabelecem tal relação com a estrutura dos metais e suas ligas metálicas, apesar de citarem ou descreverem algumas propriedades atômicas ou propriedades dos metais e suas ligas fazendo-a apenas de forma textual. Já o L2, além de explicar de forma discursiva, também faz uso de imagem explicando a maleabilidade dos metais por uma abordagem atômico-molecular.

Somente os livros L1 e L3 citam os tipos de células unitárias CCC e CFC. Sendo que destes, somente o L1 apresenta uma imagem das formas cúbicas (Figura 14), ambas na forma tridimensional.

Essas discussões estão presentes no campo da dimensão atômico-molecular, porém nada impede que tenha uma abordagem das estruturas cristalinas pautada na dimensão fenomenológica (TALANQUER, 2011), apresentando exemplos do cotidiano e mostrando sua estrutura interna.

**Figura 14** - Estrutura de células unitárias do sódio (CCC) e do alumínio (CFC)



**Fonte:** Livro 1 (p. 304).

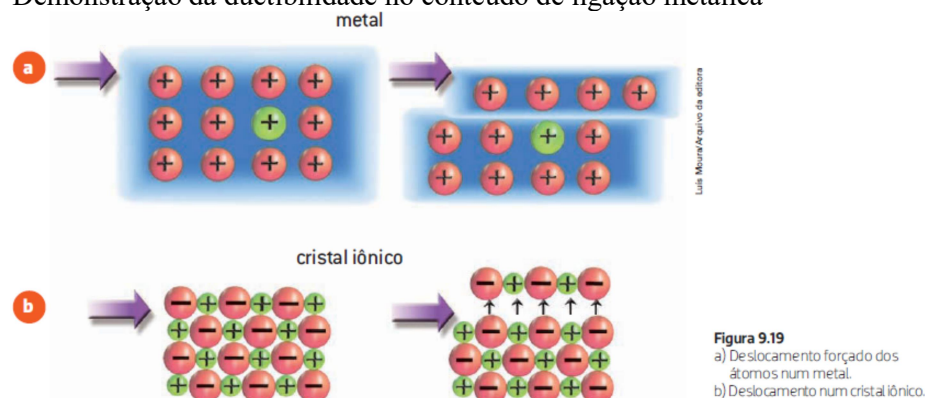
O L2 embora faça menção à ‘rede cristalina’ (estrutura cristalina), não cita a menor parte da estrutura que pode representar o todo (célula unitária), já que o objetivo é discutir os elétrons livres do átomo central de lítio do modelo utilizado, usa-se também do termo ‘cristal’ (estrutura cristalina) para descrever o espaço que os elétrons dinamizados podem percorrer

livremente. No entanto, é o único livro que apresenta um modelo que discute a maleabilidade dos metais em comparação com o cristal iônico, Figura 15.

Dessa forma, o L2 justifica através de imagens as propriedades das substâncias metálicas (maleabilidade, ductibilidade, condutividade), que são apresentadas também de forma discursiva.

A maleabilidade é relacionada a partir de um modelo que visa comparar a estrutura de um sólido metálico com a de um sólido iônico, utilizando uma imagem que representa um modelo nos dois casos, Figura 15. Dessa forma, o conceito de maleabilidade e ductibilidade entre as estruturas dos sólidos metálicos que o L2 utiliza tem uma abordagem que justifica uma propriedade fenomenológica (deformação do metal) por uma abordagem pautada na dimensão atômico-molecular, uma vez que oferece uma explicação da tensão mecânica aplicada em um metal e sobre cristal iônico, utilizando-se do modelo de gás de elétrons. Esse modelo representa o movimento de uma parte de um plano de átomos, em que aparece o deslocamento físico, demonstrando a diferença entre o que acontece com o metal sob tensão mecânica em um sólido metálico e em um cristal iônico.

**Figura 15** - Demonstração da ductibilidade no conteúdo de ligação metálica



**Figura 9.19**  
a) Deslocamento forçado dos átomos num metal.  
b) Deslocamento num cristal iônico.

**Fonte:** Livro 2 (p. 299).

A explicação e a compreensão de uma gama de conceitos científicos passam, fundamentalmente, por uma elaboração conceitual presente na dimensão atômico-molecular. Alguns trabalhos (NAKHLEH, 1993; NAKHLEH; MITCHELL, 1993; PASELK, 1994) têm argumentado que os estudantes capazes de imaginar fenômenos químicos em nível microscópico desenvolvem bom entendimento conceitual. Por outro lado, Turner (1990) notou que os estudantes com insucesso em cursos de química nunca se habituaram a imaginar ou a desenhar para resolver problemas.

Para os estudantes entenderem o conteúdo de ligação metálica é então necessária a compreensão da interação entre os constituintes estruturais (CHENG; OON, 2016). Assim, as propriedades físicas que são explicadas de forma fenomenológica, tais como maleabilidade,

ductibilidade, densidade e estados de agregação da matéria, também podem ser aprofundadas em relação ao conhecimento, sob a ótica da dimensão atômico-molecular (TALANQUER, 2011).

O L2 encerra o conteúdo relatando, dentre outras propriedades, a densidade dos metais que tem volume reduzido em comparação a substâncias moleculares, iônicas ou covalentes, pelo fato do "arranjo cristalino dos metais" ser "bastante compacto", fazendo uma breve tentativa de discorrer sobre a estrutura cristalina dos metais.

O L3 define o que chama de 'arranjo cristalino' (estrutura cristalina) ao qual uma "forma como os átomos estão ordenados" e diz que os átomos estão "distribuídos espacialmente de forma sistemática e organizada". O L3 utiliza-se de várias terminológicas para designar a estrutura cristalina (em redes cristalinas, arranjo cristalino, retículo cristalino), além de afirmar que essas estruturas podem "se apresentar de diferentes formas, como cúbico de face centrada e cúbico de corpo centrado" (p. 254). Essa abordagem, de forma textual descritiva pode dificultar a aprendizagem estrutural da formação da ligação metálica por envolver simultaneamente várias terminologias.

Nesse livro afirma-se também que a disposição da rede cristalina "depende basicamente do raio e da carga nuclear dos átomos envolvidos" e apresenta várias formas, citando as formas das células unitárias (Cúbico de Face Centrada e Cúbico de Corpo Centrado). Porém, em nenhum momento foi verificada a presença dos modelos das estruturas cristalinas nesse conteúdo.

O L3 ainda ressalta que as propriedades de "condutibilidade elétrica e outras propriedades físicas, como a maleabilidade" podem ser explicadas pelo modelo teórico de gás de elétrons (colocado pelo livro como modelo de 'mar de elétrons').

Cheng e Oon (2016) apontam que somente a abordagem descritiva do modelo clássico de partículas não é eficiente para uma aprendizagem efetiva, podendo gerar dificuldades de aprendizagem para o estudante, pois, ao ignorar a interação eletrostática, dificulta-se o entendimento das propriedades dos metais. Analisando 48 livros de química, Solbes e Vilches (1991) destacam que poucos textos adotam a visão de célula unitária. Os autores consideram que muitas dificuldades de compreensão da ligação podem estar relacionadas a uma apresentação limitada do modelo, que ignora a estrutura.

Ao abordar e retomar as diferentes propriedades que as substâncias possuem, o LD lança mão de recursos que permitem problematizar o estudo dos sólidos metálicos. É importante destacar que tais propriedades tangíveis são resultados de fenômenos pautados

pela dimensão atômico-molecular, cujas explicações dependem fundamentalmente do uso de modelos os quais não podem ser negligenciados no ensino da química (JUSTI, 2006).

O L4 descreve a estrutura dos metais, afirmando que “os cátions dos elementos metálicos estão dispostos em um retículo cristalino e elétrons circulam livremente” (p. 151). No entanto essa descrição não colabora para uma aprendizagem efetiva da estrutura de um material ou substância metálica. E assim, o L4 coloca também que;

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, grifo do autor).

Assim, fica claro que a falta de esclarecimento dos conceitos na abordagem do conteúdo pode ser um empecilho na aprendizagem das propriedades químicas e físicas, tais como resistência ou ductibilidade, maleabilidade, pontos de fusão e ebulição, etc.

Além da propriedade de condução de corrente elétrica dos metais, outra propriedade é a maleabilidade, que no L4 é explicada pela descrição do “deslizamento dos átomos e o rearranjo do retículo cristalino” (p. 151) ocasionado pela tensão mecânica.

O L4 também exhibe uma relação conceitual (atômica-molecular) que considera que os núcleos dos átomos metálicos apresentam “baixa atração pelos elétrons da camada de valência, justificando os baixos valores de ionização, afinidade eletrônica e eletronegatividade” (p. 151). Tal abordagem envolve uma série de conceitos que já devem ter sido aprendidos sob a ótica da dimensão atômico-molecular, assim, é importante que o estudante desenvolva a capacidade de explicar as propriedades da matéria e consiga fazer observações entre as dimensões atômico-molecular e fenomenológica (KARPIN; JUUTI; LAVONEN, 2014).

Estudos têm demonstrado a dificuldade dos estudantes em estabelecer conexões entre os fenômenos e as diferentes formas de pensar, empregadas na química para interpretá-los, especialmente pelo fato de seus pensamentos se pautarem em experiências sensoriais (TABER; COLL, 2002; TABER, 2003).

Dessa forma, como descrita anteriormente, poderia ocorrer uma transposição entre as dimensões fenomenológica para a dimensão atômico-molecular, porém, o L4 não apresenta nenhuma imagem do modelo descrito (como realizado no livro 2), exigindo do estudante que imagine esse deslizamento citado e o rearranjo do retículo.

Embora se tenha uma descrição do processo de rearranjo, a obra não justifica a ligação metálica por meio das interações dos íons positivos e elétrons livres ou ainda em comparação

com substâncias de outros tipos de ligação, a exemplo, iônicas ou covalentes (CHENG; OON, 2016), como realizados nas demais obras.

A discussão a respeito da estrutura dos sólidos metálicos pode contemplar tanto os aspectos elencados pela dimensão atômico-molecular, quanto por um viés da dimensão fenomenológica, pois o ensino e a aprendizagem das propriedades químicas dos metais dependem das abordagens que possibilitem ao estudante transitar nessas dimensões do conhecimento, visto que um modelo por si só dificilmente conseguirá explicar todas as características e propriedades dos metais.

### 6.3 Dimensão teórico-representacional

A ligação metálica pode ser representada utilizando-se de figuras geométricas específicas (pontos e círculos) para representar sua estrutura e formas espaciais (partículas), o que a localiza também na dimensão atômico-molecular, em nível de comparação de escala em relação à dimensão fenomenológica (CHENG; GILBERT, 2014).

Uma vez que os modelos discutidos abrangem geralmente os aspectos estruturais da ligação metálica, a dimensão teórico-representacional busca usar da reflexão sobre o fenômeno, justificando e realizando extrapolações acerca dos processos físicos ou químicos que não pode ser vistos facilmente, tais como força eletrostática ou de energia de ligação (CHENG; GILBERT, 2014), através de convenções simbólicas, por exemplo, da linguagem química e matemática para explicar propriedades da matéria, justificar fenômenos estruturais e fazer inferências acerca do tema decorrente. Assim, para a análise do conteúdo de ligação metálica, os aspectos como retomada de significados, comparações entre os diferentes tipos de ligações químicas, indução ao erro conceitual, caráter direcional dos elétrons e envolvimento de ideias matemáticas fazem parte do conjunto de aspectos analisados neste trabalho, estando descrito no Quadro 4 a seguir.

**Quadro 4** – Aspectos analisados nos livros didáticos em relação à dimensão teórico-representacional.

Aspectos analisados	L1	L2	L3	L4
Retomada de significados por abordagem teórico-representacional		x		x
Comparações entre os diferentes tipos de ligações		x	x	
Indução ao erro conceitual	X		x	
Caráter direcional dos elétrons		x		
Envolvem ideias matemáticas, cálculos, fórmulas expressões, gráficos, tabelas, quadros, etc.			x	x

**Fonte:** O autor.

O uso da dimensão teórico-representacional encerra uma série de representações, em que pode vir acompanhada ou não das outras dimensões do tetraedro, compreendendo

imagens, símbolos, equações matemáticas, diagramas, fluxogramas, gráficos e tabelas, que são utilizados como recurso, a fim de facilitar a aprendizagem nos livros de química (CHITTLEBOROUGH, 2014; CROFT; BERG, 2014; GOIS; GIORDAN, 2007; MAHAFFY, 2015).

A análise do livro didático de química sempre diz muito sobre sua intencionalidade, a retomada de significados (L2 e L3), a classificação dos materiais em metais simples ou ligas metálicas abordada em função à produção e a utilização de materiais (L2 e L4), a relação dos metais com a tabela periódica (L2) requer que se tenha um método de classificação e organização de objetos.

As comparações entre os diferentes tipos de ligações químicas requerem dos estudantes inferências quanto ao comportamento dos elétrons nas ligações e, em particular, na ligação metálica, formação da célula unitária, explicação da formação das características da estrutura (arranjo ou rede) cristalina, a fim de assegurar uma discussão das propriedades dos metais de forma contextualizada, dando exemplos de aplicabilidade de uso prático do cotidiano.

Observou-se que os três livros, L2, L3 e L4 optaram por utilizarem das representações de modelo de ligação metálica como sendo esferas positivas rodeadas ou imersas a elétrons em figuras em duas dimensões através de modelos que têm suas estruturas representadas em duas dimensões (2D). Esse tipo de representação tornou-se um modelo clássico para a ligação metálica.

O livro 1 não dá destaque ao modelo clássico de ligação metálica, utiliza em sua definição para expor o conceito de forma textual, explicando a formação de uma substância simples metálica (metal puro), cita ainda a propriedade dos átomos metálicos em formar cátions (eletropositividade), e como reforço conceitual opta por usar um fluxograma, Figura 12, contendo palavras-chave com o intuito de facilitar a compreensão do estudante.

Dessa forma, o L1 aborda a questão estrutural dos metais buscando a conexão com o modelo:

Os cátions do metal agrupam-se segundo um arranjo geométrico definido, denominado **estrutura cristalina** ou **célula unitária** [...] Os cátions metálicos que formam as células unitárias têm suas cargas positivas estabilizadas pelos elétrons semilivres, que ficam envolvendo a estrutura como uma nuvem eletrônica. Os elétrons semilivres são dotados de certo movimento, o que justifica a propriedade que os metais possuem de conduzir corrente elétrica na fase sólida. (Livro 1, p. 304, grifo do autor).

No L1, embora mostre apenas o modelo das células unitárias, o texto afirma que "os cátions do metal agrupam-se segundo um arranjo geométrico definido, denominado **estrutura**

**crystalina** ou **célula unitária**" (p. 304), dando a entender que estes dois termos são sinônimos, quando por definição são diferentes, o que pode gerar dificuldade no entendimento conceitual do conteúdo e, assim, induzindo o estudante ao erro conceitual. Enquanto que a célula unitária é a menor parte do sólido que representa o todo, a estrutura cristalina é formada pela repetição periódica da célula unitária (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006).

Embora a ligação metálica, a formação da estrutura e a interação eletrostática se encontrem na dimensão atômico-molecular, sua explicação e justificativa só pode ocorrer nos LD por via da dimensão teórico-representacional, em que se pretende explicar a existência de partículas que são de difícil visualização como os cátions e elétrons deslocalizados (CHENG; OON, 2016).

As imagens podem ajudar na construção de um modelo mental e conseqüentemente à definição de um conceito, no entanto múltiplas interpretações aos modelos que idealizam a ligação metálica podem ser dadas por estudantes ou professores (KARPIN; JUUTI; LAVONEN, 2014).

No livro 2 há utilização de imagens que mostram o átomo metálico imerso a um ‘gás de elétrons’, conceito usado pelos autores para descrever o modelo clássico colocado pelas demais obras (L3 e L4) como ‘mar de elétrons’. O livro 3 para demonstrar os elétrons livres, utiliza-se de uma figura em 2D, que mostra o núcleo do átomo como uma esfera positiva distribuída de forma espacial e sistemática em meio aos elétrons, expondo esse modelo como mar de elétrons. O L4 exhibe um modelo no qual os cátions estão imersos nos elétrons livres, conhecido por modelo de “mar de elétrons”. Alguns estudos relatam que os estudantes podem ter consciência que existe algum tipo de ligação química na interação das partículas na ligação metálica, no entanto, não reconhecem ou não fazem a relação apropriada das substâncias metálicas com o tipo de ligação específica, sendo uma das dificuldades recorrentes em estudos relacionados ao tema (TABER; COLL, 2002; TABER, 2003; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2003).

O L1 também faz uso das representações das células unitárias na forma cúbica (Figura 14) juntamente com a simbologia da representação dos modelos tridimensionais (traços e pontos pretos) do tipo cúbico de corpo centrado para o sódio (legenda –  $\text{Na}_{(s)}$ : CCC) e cúbico de face centrado (legenda –  $\text{Al}_{(s)}$ : CFC) para o alumínio.

Os modelos de célula cristalina tridimensional (3D) indicam a estrutura do sólido metálico numa organização tridimensional. Baseado na dimensão atômico-molecular e pautado na dimensão representacional, em que a estrutura dos metais pode ser explicada com base nas imagens apresentadas no livro didático.

Vários autores defendem o uso de múltiplas representações, de forma a facilitar a transição entre as dimensões do conhecimento. Por outro lado, pesquisas vêm apontando a dificuldade dos estudantes em estabelecer relações entre os fenômenos tangíveis e as ferramentas químicas para sua representação e explicação (GABEL, 1998, 1999). Nesse sentido, a presença apenas dos modelos dos retículos é um fator negativo no auxílio a essa transição entre as dimensões do conhecimento químico.

Concordamos com Talanquer (2011) quando considera que um ensino pautado exclusivamente nas dimensões representacional e atômico-molecular raramente contribui para uma aprendizagem efetiva, já que os estudantes têm suas atenções voltadas para o mundo tangível.

O L1 se utiliza de um quadro, Figura 16, apresentando as propriedades para descrever algumas propriedades subatômicas intangíveis que podem ser explicadas com uma abordagem teórico-representacional, que explica o fenômeno ocasionado nos metais e algumas das características na intenção de introduzir as propriedades, em que estas, não apresentam conectividade com a propriedade descrita ao abordar a ligação metálica.

**Figura 16** - Tabela contendo as propriedades e características dos metais por uma abordagem fenomenológica

Propriedades dos metais	Características
Condutibilidade elétrica	São excelentes condutores de corrente elétrica, tanto na fase sólida como na fase líquida.
Estado de agregação	Apresentam-se na fase sólida em condições ambientes, com exceção do mercúrio, que é líquido.
Pontos de fusão e de ebulição	Em geral possuem altos pontos de fusão e de ebulição, com exceção do mercúrio, dos metais alcalinos, do gálio, do índio, do estanho e do bismuto.
Dureza	Apresentam baixa dureza, ou seja, são sólidos moles, facilmente riscados por outros materiais, com algumas exceções, como o irídio, o ósmio, o tungstênio e o crômio.
Tenacidade	Possuem alta tenacidade, suportando pressões elevadas sem sofrer rupturas.
Resistência a tração	São muito resistentes a tração, sendo muito utilizados em cabos de elevadores e como reforço de construções para torná-las mais resistentes.
Maleabilidade	São facilmente transformados em lâminas.
Ductibilidade	São facilmente transformados em fios quando aquecidos a altas temperaturas.
Solubilidade	São insolúveis em óleo e água. Alguns metais, como o ouro, dissolvem-se em mercúrio, formando soluções sólidas denominadas <b>amalgamas</b> .

**Fonte:** Livro 1 (p. 303).

Aprender química pressupõe entender as representações utilizadas por essa ciência, pois seu uso exige a habilidade de se pensar microscopicamente e traduzir isso por meio de uma linguagem nova. Perpassar o nível representacional é indispensável para a educação em química. Entretanto, nota-se que a descrição da estrutura no L1 é utilizada para justificar a propriedade de condutibilidade elétrica, sem o uso da representação do modelo de ligação metálica.

De tal maneira, a ausência de representação do modelo de ligação reforça uma das dificuldades de compreensão do modelo de ligação metálica, justamente a diferenciação entre



estrutura e ligação. Ademais, o livro parece assumir que a condutibilidade depende dos retículos cristalinos em estrutura sólida. Porém, os metais também conduzem corrente elétrica na fase líquida, como é o caso do mercúrio.

O L2 inicia sua abordagem colocando que "3/4 dos elementos do sistema periódico são classificados como metais" (p.298), utilizando-se da dimensão representacional em que o estudante, para comprovar esta afirmação, deverá observar a tabela periódica. Isso indica uma retomada de significados, visto que o estudante já deveria, nesse ponto, ter tido contato com a tabela periódica. Observa-se que essa estratégia dá ênfase ao conhecimento construído a partir da dimensão teórico-representacional (ao falar dos elementos da tabela periódica).

Outra abordagem utilizada pelos livros é a comparação entre as ligações químicas. Assim o L2, além de situar os metais na tabela periódica, realiza uma comparação da ligação metálica com a ligação covalente, relatando a atração dos núcleos sobre o par de elétrons (ligação covalente), e atração mútua entre um grande número de núcleos e de elétrons. Dando exemplos, chega-se a descrever o elétron de valência e o movimento dos elétrons livres no cristal. Idealiza-se o modelo de 'gás de elétrons' diferenciando-os da ligação covalente (elétrons com caráter direcional) e na ligação metálica os elétrons que "estão dispersos quase uniformemente por meio do cristal" (estrutura cristalina).

Ao realizar uma comparação do comportamento direcional dos elétrons em uma ligação covalente com os elétrons deslocalizados da ligação metálica e ao descrever o papel dos elétrons de valência (movimento dos elétrons no cristal), o L2 coloca que a ligação metálica é de natureza eletrostática, não direcional.

Esse tipo de abordagem textual discursiva está situado na dimensão representacional. Buscando destaque para a dimensão atômico-molecular, ao descrever o comportamento dos elétrons (partículas intangíveis) na estrutura com base na natureza eletrostática dos átomos, logo é de grande utilidade para descrever a estrutura da ligação metálica e suas propriedades posteriormente (CHENG; OON, 2016).

O L3 também compara a ligação metálica com a ligação iônica e a ligação covalente. No entanto, se utiliza de caixas de texto de forma a dar maior destaque e dinamismo ao texto em duas situações, Figura 17(A) e 16(B), para dar ênfase a um questionamento no início de sua abordagem do conteúdo de ligação metálica e no final do conteúdo, dando uma definição do conceito de ligação metálica.

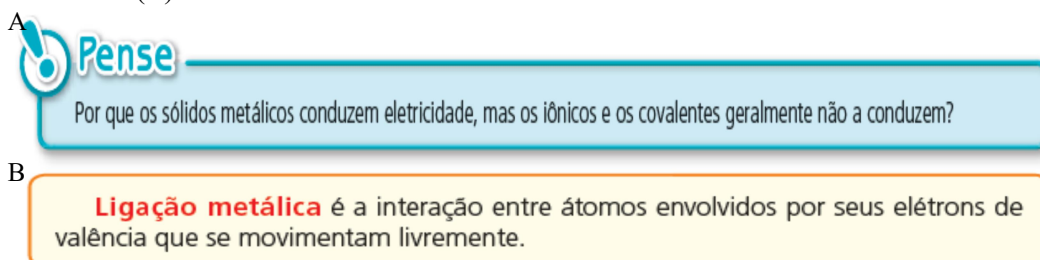
Na primeira situação, Figura 17(A), pode levar o estudante a buscar por respostas ou criar hipóteses para suas reflexões. Ao fazer esse tipo de questionamento, torna-se evidente a presença do diálogo entre o livro didático e o estudante. Essa aproximação pode levar o

estudante a refletir e produzir conhecimentos prévios evidenciados pelos processos perceptivos e cognitivos em relação à ligação metálica (TABER, 2003). Já na segunda situação, a aplicação da caixa de texto tem o objetivo de dar destaque ao conceito de ligação metálica, Figura 17(B), que aponta para uma abordagem sob a ótica da dimensão atômico-molecular.

O L3 também realiza uma comparação da ligação metálica com as ligações iônica e covalente, o que pode contribuir para a aprendizagem do estudante ao ver e compreender o mundo químico, subcategoria da dimensão sócio-histórica (MAHAFFY, 2004).

Os recursos visuais nos livros didáticos ajudam a estabelecer relações entre os conceitos influenciando na prática do professor e no direcionamento da aprendizagem dos estudantes (SILVA; BRAIBANTE; PAZINATO, 2013). Deste modo, um aspecto importante que pode ser verificado é a incoerência entre o discurso textual e as representações presentes nos livros didáticos, como ocorre no L3.

**Figura 17** - Caixa de texto utilizada como recurso de destaque para questionamento (A) e definição de ligação metálica (B)



**Fonte:** Livro 3 (p. 253 e p. 254, respectivamente).

Embora apresente o modelo clássico de partículas para a ligação metálica e após descrever que os elétrons transitam facilmente por todo o cristal, em seguida, o texto se refere ao compartilhamento de elétrons por átomos metálicos:

Isso ocorre por conta do padrão de organização dos átomos dos metais em seus retículos cristalinos e do alto valor de raio atômico que permite que os átomos metálicos compartilhem os elétrons de suas camadas de valência com átomos vizinhos, caracterizando assim a ligação metálica (L3, p. 254).

Esse tipo de citação não contribui para a formação do conceito de ligação metálica, pois não se tem um compartilhamento de elétrons entre os átomos adjacentes, uma vez que o movimento dos elétrons são deslocados e aleatórios, mas próximos do comportamento de partículas de um gás, ideias já defendidas por Paul Drude (1863-1906). Dessa forma que está posto, os estudantes podem ser induzidos a pensarem que os átomos metálicos compartilham elétrons igualmente ao que acontece com a ligação covalente.

Estudos mostraram que estudantes podem ter uma concepção de que os materiais metálicos formam ligação iônica e covalente (TABER, 2003). Assim, uma comparação entre

os diferentes tipos de ligações pode favorecer o entendimento da ligação metálica. Logo, o professor pode utilizar-se das comparações que os estudantes desenvolvem para mapear estratégias pedagógicas e assim introduzir as dimensões do conhecimento (MAHAFFY, 2004). Em relação às propriedades, o L3 aborda a propriedade de ionização que é enfatizada ao se discutir o aspecto energético utilizando uma tabela que mostra os valores de energia de ionização de alguns metais e não metais como estratégia, buscando reforçar a aprendizagem.

Em seguida é realizada uma comparação da energia de ionização entre os não metais (F, Ar<sup>3</sup>, Cl e S) e metais (Cu, Fe, Al, e Na), Figura 18, em que aparece na tabela uma diferença de ionização, pouco mais que o dobro para os não metais, mostrando que é mais fácil do ponto de vista energético, retirar elétrons de um metal do que um não metal.

**Figura 18** - Tabela da energia de ionização usada no livro didático

ENERGIA DE IONIZAÇÃO DE ÁTOMOS DE ALGUNS ELEMENTOS QUÍMICOS			
Não metais	Energia de ionização	Metais	Energia de ionização
F	1680 kJ·mol <sup>-1</sup>	Cu	785 kJ·mol <sup>-1</sup>
Ar	1520 kJ·mol <sup>-1</sup>	Fe	759 kJ·mol <sup>-1</sup>
Cl	1255 kJ·mol <sup>-1</sup>	Al	577 kJ·mol <sup>-1</sup>
S	1000 kJ·mol <sup>-1</sup>	Na	494 kJ·mol <sup>-1</sup>

**Fonte:** Livro 3 (p.154).

Através da comparação dos valores de energia de ionização, o estudante pode aprender a realizar comparações entre os valores de energia, o que requer dele uma transposição do pensamento, ajudando a perceber de forma quantitativa os processos energéticos. Esse tipo de abordagem relacionando a dimensão representacional denota uma preocupação em explicar as propriedades dos elementos de forma matemática (CHITTLEBOROUGH, 2014; CROFT; BERG, 2014; GOIS; GIORDAN, 2007; MAHAFFY, 2015). No entanto, a presença de um elemento (Ar) de outro grupo pode levar os estudantes a classificar os não metais de forma incorreta, induzindo ao erro conceitual.

O L4 apresenta um modelo bidimensional (2D) de ligação metálica, Figura 13, em que é representado por pequenos pontos como plano de fundo (representação do modelo de ‘mar de elétrons’), no qual os “cátions dos elementos metálicos” estão dispostos em um “retículo cristalino” onde os elétrons circulam livremente entre eles.

O L4 também se utiliza de um quadro, Figura 19, em que mostra a composição em porcentagem de massa de algumas ligas metálicas, fazendo uma ponte entre o conhecimento químico e os objetos presente no cotidiano.

<sup>3</sup> O Argônio (Ar) é um gás nobre, encontramos um equívoco na classificação desse gás nobre como não metal.

**Figura 19** - Quadro de ligas metálicas apresentado no livro didático com porcentagem de massa e aplicação das ligas metálicas

Liga	Composição mais comum (porcentagens em massa)	Aplicação
Bronze	67% Cu e 33% Sn	Sinos, moedas, estátuas
Aço inoxidável	80% Fe; 0,5% C; 18% Cr; 1,5% Ni	Panelas, tubulações
Metal wood	50% Bi; 27% Pb; 13% Sn; 10% Cd	Fusíveis
Latão	95% a 55% Cu e 5% a 45% Zn	Peças de máquinas, instrumentos de sopro
Prata de lei	95% Ag e 5% Cu	Jóias e bijuterias
Amálgama odontológico	70% Ag; 18% Sn; 10% Cu; 2% Hg	Obturações dentárias

Fonte de pesquisa: CANTO, Eduardo Leite do. *Minerais, minérios, metais: de onde vêm? para onde vão?* São Paulo: Moderna, 2004.

**Fonte:** Livro 4, p.152.

A utilização desse tipo de recurso tende a contribuir para a aprendizagem por transitar pelas dimensões do conhecimento ao mostrar a liga metálica (dimensão fenomenológica), símbolos dos elementos e constituição (dimensões atômico-molecular e teórico-representacional) e suas aplicações (dimensão atômico-molecular). Dessa forma, o uso de “múltiplas formas de representações torna-se importante ao permitir que os estudantes consigam diferenciar essas características” (CHITTLEBOROUGH, 2014) e ao se utilizar de fórmulas, gráficos, tabelas nos livros didáticos, colocam a química em uma posição mais complexa das representações (TALANQUER, 2011).

Uma vez que a química aborda o mundo subatômico, as representações constituem o cerne da elaboração de qualquer teoria. Aprender química pressupõe elaborar e re-elaborar representações e compreender o que estas significam. Assim, explorar as representações teóricas do modelo constitui aspecto chave para a aprendizagem. Como sugerem Abraham e Willianson (1994), a habilidade em raciocinar, no caso sob a ótica da dimensão atômico-molecular podem favorecer o entendimento dos conceitos, assim com diferentes modelos ou diferentes formas de representação, o processo de ensino se torna importante para o estudante.

Entretanto, de um modo geral, os livros analisados se utilizam de modelos que são estabelecidos, em um momento para expressar a célula unitária (L1), deixando de lado o modelo de ligação, e em outros para expor o modelo clássico de partículas (L2, L3, e L4), no entanto não abordando as células unitárias com uso de imagens. Outro ponto em destaque é a falta de modelos que busquem explicar melhor as propriedades da matéria sólida e a transição entre as diferentes dimensões do conhecimento, em que somente o L2 faz esse tipo de abordagem para a maleabilidade dos metais. Os L1 e L3 consideram as ligações como cristais.

No L1 é considerado que os cátions do metal agrupam-se em um arranjo geométrico definido, com uso de imagem da forma da célula unitária cúbico de corpo centrado e cúbico

de face centrada. Já no L3, cita-se que os átomos estão organizados em redes cristalinas, distribuídos espacialmente de forma sistemática e organizada, justificando que a estrutura cristalina “depende basicamente do raio e da carga nuclear dos átomos envolvidos” e apresentando apenas de forma textual os tipos de célula unitária cúbico de face centrada e cúbico de corpo centrado, em que, segundo a obra a energia de formação da estrutura do cristal é devido à baixa energia de ionização dos metais.

#### 6.4 Dimensão Sócio-histórica

Algumas imagens dos LD são apresentadas e analisadas no conteúdo de ligação metálica, levando-se em consideração as ideias principais da dimensão sócio-histórica, proposta por Mahaffy (2004) na construção do ensino de química, realizando-se uma discussão com base nas subcategorias dessa dimensão do conhecimento. Assim, este trabalho propõe a análise de alguns aspectos considerados importantes para a discussão do conteúdo de ligação metálica para os livros didáticos, listados no Quadro 5.

Percebe-se que essa dimensão sócio-histórica guarda uma forte correlação com a dimensão fenomenológica, podendo ser observado nos L2 e L4, ao abordar imagens com aplicações de materiais metálicos do cotidiano, Quadro 5.

**Quadro 5** – Aspectos analisados neste trabalho com base no trabalho de Peter Mahaffy.

Subcategorias propostas por Mahaffy (2004)	Aspectos observados por este trabalho para a dimensão sócio-histórica	L1	L2	L3	L4
<b>A química para o abastecimento da vida moderna (C-I)</b>	Cita objetos do cotidiano	x	x		x
	Descreve a função dos objetos		x		x
	Usa imagens do cotidiano de professores e estudantes		x		x
	Abordam os aspectos econômicos, políticos e ambientais				x
<b>A química como suporte para o sistema do planeta (C-II)</b>	Oferece discussão sobre esgotamento dos recursos naturais				
	Discute a produção química de bens e materiais de consumo				x
<b>Produção química (C-III)</b>	Descreve como ocorre o ciclo produtivo: extração-produção-comercialização-destino final				x
<b>Ver e compreender o mundo químico (C-IV)</b>	Aspectos conceituais da estrutura dos metais dos metais e/ou suas propriedades	x	x		x
	aborda aspectos conceituais da interação entre cátions e elétrons dos metais e suas propriedades	x	x	x	x
	Aspectos históricos			x	x
	Dialoga com o professor e estudante		x	x	
<b>Química para a vida (C-V)</b>	Oferece suporte interdisciplinar com outras ciências (Biologia, Física, entre outras.)				
	Mostra a presença dos metais em organismos vivos				

**Fonte:** O autor, com base em Mahaffy (2004).

Logo, o uso de imagens, figuras, animações e gráficos, entre outras abordagens de ensino apontam para uma melhor compreensão deste conteúdo, pois a aprendizagem da química é de natureza abstrata e por isso necessita de conexões das dimensões do conhecimento com um aporte social e histórico (PARIZ, 2011; MAHAFFY, 2004, 2011).

Enquanto os livros L1 e L3 oferecem um aporte através da dimensão atômico-molecular. Os livros L2 e L4 apresentam, descrevem e/ou justificam as propriedades químicas de forma tangível e por um viés característico da dimensão sócio-histórica e fenomenológica (TALANQUER, 2011).

No L1, a utilização do fluxograma, já apresentado na Figura 12, em que se utiliza uma relação entre os conceitos das outras três dimensões: representacional (por meio do pensamento abstrato do estudante), atômico-molecular (cátions e elétrons) e fenomenológica (substâncias simples metálicas). Esse movimento pode ser categorizado quando o livro didático se utiliza de diferentes abordagens de ensino para que o estudante possa ver e compreender o mundo da química, em que se realiza a compreensão do conceito final passando por processos do pensamento humano (MAHAFFY, 2004). Dessa forma, esta categoria se correlaciona com as dimensões atômico-molecular, representacional e fenomenológica.

A abordagem para o ensino da ligação metálica através de modelos é posto pelos livros que se utilizam de modelos. Enquanto que o L1 se utiliza do modelo de célula unitária apenas como suporte imagético para o texto discursivo, não abordando a ligação metálica em si e mostrando apenas as formas cúbicas de corpo centrado e de face centrada (Figura 14) em 3D, os L2, L3 e L4 se utilizam de figuras que buscam representar a estrutura da ligação metálica de 2D, tornando essas representações significativas para os estudantes, embora sendo de um modelo clássico, pautado na dimensão representacional e atômico-molecular de algum dos aspectos da ligação metálica.

Essa estratégia, do uso de modelos, pode ser uma forma de ver e compreender o mundo da química. No entanto, estudos mostram que aparecem dificuldades por parte dos estudantes ao buscarem explicar a ligação metálica com suas próprias palavras, assim a apropriação da linguagem química torna-se muito importante nesse sentido (TABER, 2003).

O L2 mostra os materiais que evidenciam a maleabilidade em um momento e em outro momento mostra torres e cabos de fiação elétrica (Figuras 7, 8), ambas se fazem presente no cotidiano da sociedade. Essas imagens mostram que apesar de estar presente na dimensão

fenomenológica, podem ser de interesse do ensino ao dar uma abordagem sócio-histórica por uma química para o abastecimento da vida moderna.

Já ao abordar os aspectos relativos à interação entre íons e cátions, a obra está promovendo o aprofundamento do conhecimento químico a um nível em que o estudante além de conhecer o íntimo da matéria pode fazer inferências acerca de suas propriedades ao se utilizar de modelos em sua aprendizagem para ver e conhecer o mundo químico.

Durante o ensino torna-se importante não apenas destacar, mas avançar para outras dimensões do conhecimento, representacional, atômico-molecular de modo a favorecer a compreensão (FRANCISCO JUNIOR; FRANCISCO; SILVA, 2016).

Através do uso de grandezas, gráficos, diagramas e tabelas, o estudante pode ver e compreender o mundo da química. Assim, o L1 também cita alguns materiais formados e algumas aplicações ao apresentar as propriedades dos metais em uma tabela (Figura 16). Já o L3 apresenta nesse caso uma tabela na qual compara os valores de ionização entre dois grupos de átomos distintos, Figura 18. (JUSTI, 2011; TALANQUER, 2011). O L3 ainda dialoga com os leitores ao utilizar-se de caixas de texto (Figura 17(A e B)), e assim busca fazer com que haja algumas reflexões acerca do tema. Para abordar as propriedades das ligas metálicas, o L4 utiliza-se de texto descritivo e faz uso de imagens, colocando que desde antiguidade já existiam as ligas de bronze para confecção de ferramentas e de armas, o ouro na fabricação de joias, o aço (liga de ferro e carbono, e outros metais) e descrevendo as propriedades de maleabilidade, brilho, dureza, tipos de resistência – oxidação, tração e mecânica – exemplificando o objeto funcional do qual é produzido. Dessa forma, a segunda seção do conteúdo de ligação metálica no L4 tem uma abordagem claramente associada à dimensão sócio-histórica (MAHAFFY, 2004).

O L4, ao explorar a imagem de um fusível (liga de bismuto, chumbo, estanho e cádmio), pela baixa temperatura de fusão, descreve a função de proteger circuitos elétricos que queimam com o aumento proporcional da tensão elétrica e temperatura, caracterizando esse movimento da dimensão sócio-histórica, como uma química para o abastecimento da vida moderna (MAHAFFY, 2004, 2015). Outra característica que condiz com a dimensão sócio-histórica é a utilização de uma tabela, Figura 19, que mostra o tipo de liga, característica em proporção elementar e aplicações da liga na formação de objetos como produção química. Ao passo que constitui a produção de bens e materiais, os quais estão constantemente influenciando a sociedade de forma cultural e econômica (MAHAFFY, 2004).

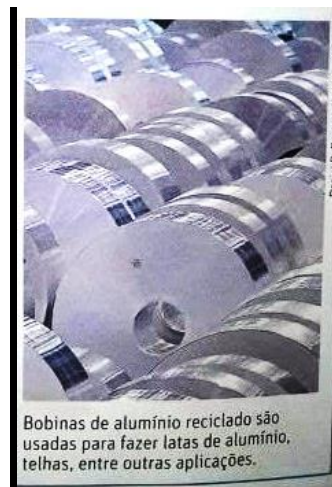
Esse tipo de discussão contribui para o ensino de química e para a formação do cidadão por uma abordagem sócio-histórica, além de transitar entre as diferentes dimensões:

representacional (percentagem e símbolo dos elementos), atômico-molecular (formação das ligas) e fenomenológico (aplicação das ligas metálicas na produção dos objetos) (MAHAFFY, 2004; TABER, 2003).

Essa colocação mostra que os metais tiveram e têm fundamental importância para o homem como abastecimento da vida moderna (C-I), denotando uma abordagem sob a dimensão sócio-histórica, e na forma de produção química (C-III), a fim de mostrar uma química da necessidade humana decorrente da extração e produção de materiais metálicos (MAHAFFY, 2004).

A utilização de seções de caixa de texto é outra abordagem que chama a atenção do estudante ao destacar do texto comum, por serem diferenciadas do texto e de cores normais do livro didático, além de ganhar destaque imagético como figura. O L4 utiliza-se ainda de uma caixa de texto com a utilização de uma imagem de bobinas de alumínio com a legenda: “Bobinas de alumínio recicladas são usadas para fazer latas de alumínio, telhas, entre outras aplicações”, Figura 20, evidenciando uma química como suporte para o sistema do planeta, uma vez que os recursos minerais são limitados.

**Figura 20** - Material produzido a partir da atividade humana em função do trabalho com objetivos específicos para a sociedade



**Fonte:** Livro 4 (p. 152).

Ao destacar a produção de alumínio na forma de metal puro, o L4, também relata a aplicação do cobre eletrolítico que “possui pelo menos 99,9% de Cu e é o material mais adequado para fios de condução de eletricidade” (p. 152). Dessa forma, coloca em discussão de forma fenomenológica e dentro da dimensão sócio-histórica, por ter uma abordagem do objeto que favorece meios de avançar no meio tecnológico dando suporte ao sistema que nutre a cultura tecnológica instaurada no planeta (MAHAFFY, 2004).

É preciso repensar os conteúdos do livro didático e abordar questionamentos a respeito da extração de metais e qual o caminho tomado desde a extração de minério até a produção e



comercialização do produto final. Os quais estão presentes no cotidiano dos estudantes e por eles sendo utilizados (SJÖSTRON, 2013).

A dimensão sócio-histórica teria como preocupação debater o desenvolvimento da ciência através dos tempos para o homem, bem como os processos sociais, histórico e tecnológico. Colocar em evidência para os estudantes as propriedades dos metais (condutividade elétrica e térmica, ponto de fusão, maleabilidade, ductibilidade, brilho, etc.) seja elas de origem atômica-molecular, fenomenológica ou representacional.

Uma abordagem sócio-histórica pode auxiliar o entendimento dos materiais metálicos, bem como se dá a forma de produção, do impacto econômico e cultural sobre a sociedade. Logo, é importante que o ensino da química consiga lançar olhares para a formação da cidadania do estudante. Este é um dos grandes desafios a serem vencidos em relação à abordagem dos conteúdos científicos, especialmente no planejamento didático-pedagógico.

O estudo sobre o uso dos materiais metálicos e suas ligas, como também o impacto dos processos extrativos podem levar os estudantes a interagir com a sociedade de forma crítica, tendo consciência dos materiais que utilizam, conhecendo os processos desde sua extração, fabricação, utilização e descarte apropriado.

## 7 APONTAMENTOS FINAIS

A explicação da ligação química pode ser desenvolvida com base em diferentes modelos, desde os clássicos aos que empregam conceitos da mecânica quântica, utilizando um sistema de símbolos, pautado na dimensão representacional dos modelos atômicos, partículas, movimento de elétrons, moléculas e conseqüentemente as ligações químicas. Além disso, as propriedades macroscópicas têm íntima relação com a constituição atômica dos metais, o que permite analisar a extensão e a validade de diferentes modelos teóricos, fomentando o pensamento crítico.

Os resultados acenam que os livros didáticos valorizam as diferentes dimensões do conhecimento, tais como fenomenológica, atômico-molecular, representacional e sócio-histórica. Diferentes modos de representação puderam ser observados para a abordagem das dimensões do conhecimento, tais como o uso de fluxograma, tabelas, imagens e modelos. Logo, o grande desafio parece estar na forma de abordagem e integração dessas dimensões de modo a se aproximar da realidade de um estudante do Ensino Médio.

Os resultados mostram que os livros didáticos de química aprovados pelo PNLD 2015 oferecem uma abordagem descritiva, classificando as substâncias metálicas em puras ou ligas metálicas (L2 e L4). Os livros também apresentam algumas funcionalidades dos materiais citados e aplicações dos materiais com o uso de imagens. Enquanto que uns se utilizam de quadros descritivos (L1 e L4), outros se utilizam de retomada de significados (L2 e L3), assim classificando-os em certos momentos, tendo uma abordagem, geralmente nesse sentido, como sendo referente à dimensão fenomenológica. Essas abordagens nos livros didáticos, dentro do conteúdo de ligação metálica, estão restritas ao fenômeno da condução de corrente elétrica e maleabilidade. Os exemplos fenomenológicos, quase sempre, não apresentam uma criticidade social, econômica e cultural de forma a aproximar o conteúdo apresentado do cotidiano do estudante.

Embora os livros (L1, L2 e L3) apresentem o modelo clássico de ligação metálica em 2D, modelo clássico mar de elétrons ou ainda nuvem eletrônica, que segundo estudos, podem induzir a muitos erros conceituais devido à complexidade do modelo, ao qual não consegue associar a ligação metálica ao seu conceito. Os modelos ainda se apresentam com características que podem levar os estudantes a ter interpretações equivocadas, não apresentando as vantagens e desvantagens do modelo. No conteúdo de ligação metálica, é perceptível a falta de modelos que possam contribuir para avanço conceitual da estrutura da

ligação metálica, discutir o conceito de célula unitária e, conseqüentemente, da estrutura cristalina. Pouco se discute sobre algumas propriedades dos metais em relação a sua estrutura interna, visto que as propriedades tangíveis são o resultado das propriedades subatômicas representadas através da dimensão atômico-molecular.

A dimensão teórico-representacional é marcada pelos aspectos teóricos como a retomada de significados nos livros (L2 e L4), também é passível de comparações dentro do mesmo conteúdo (L2 e L4). Já o uso de modelos, em muitos casos não tem relação apropriada na abordagem dos conceitos pelo texto discursivo (L1 e L3), o qual no L1 ainda encontra-se confusão em relação aos conceitos de célula unitária e estrutura cristalina.

Assim, a abordagem do conteúdo de ligação metálica ainda carece de uma reflexão sobre o uso e validade do modelo explicativo. Os resultados evidenciam que o modelo dos elétrons deslocalizados prevalece como princípio explicativo da ligação metálica. No entanto, em nenhuma das obras ficou claro a função da interação eletrostática entre cátions e elétrons na formação da estrutura cristalina e influência nas propriedades dos metais.

As limitações do modelo não são abordadas em nenhum dos livros. Ainda que os livros didáticos busquem a relação entre a dimensão concreta (propriedades) e atômico-molecular (modelo), resta pensar na formação do estudante quando ao adquirir esse tipo de conhecimento para uma abordagem mais significativa a respeito da temática.

Ao analisar o conteúdo de ligação metálica sob a ótica da dimensão sócio-histórica, em geral os livros apresentaram características que podem ser evidenciadas nessa dimensão (L2 e L4), tais como, citar objetos metálicos com a função em imagens do cotidiano dos estudantes, aspectos conceituais relacionados com a estrutura dos metais (L1, L2 e L4). Já em relação à interação de cátions e elétrons, todos os livros têm por base a interação entre cátions e elétrons, ressaltando-se que essa interação, nos livros, não é justificada pela interação eletrostática da ligação metálica.

Nesse conteúdo, não se tem uma discussão sobre esgotamento dos recursos naturais, bem como os aspectos econômicos, políticos e ambientais (exceto L4). No entanto, o L4 é o único que teve a intenção de dar uma abordagem que mostra o ciclo produtivo dos metais, discutindo a produção química de bens e materiais de consumo.

Ressalta-se ainda que, embora os metais tenham uma grande relação com os seres vivos, os livros didáticos nesse conteúdo, não citam e nem fazem referência à presença dos metais em organismos vivos, o que poderia ser uma ponte entre a química e outras disciplinas.

Para que os estudantes tenham conhecimento dos sólidos metálicos, seja em aulas teóricas ou experimentais, em ambientes formais ou não formais, é importante que o livro

didático apresente um conteúdo de forma bem estabelecida, e não fragmentada, que possa facilitar a aprendizagem do conteúdo para o estudante, levando em consideração os conhecimentos anteriores e explicando os conceitos científicos em uma linguagem que se aproxime da sua realidade.

## 8 PRODUTO EDUCACIONAL

Devido às dificuldades dos estudantes em explicar as características das propriedades dos metais, em compreender adequadamente os modelos utilizados na química e realizar construções dos modelos metais ou em forma de maquetes, entender a relação de estabilidade estrutural das interações eletrostáticas dos cátions e elétrons, surgiu a proposta de elaborar um modelo de ligação metálica de baixo custo, que possa ser construído facilmente por professores, Figura 21.

**Figura 21** - Imagens do modelo cúbico de corpo centrado para a ligação metálica



**Fonte:** O autor.

Um modelo como forma de representar a ligação metálica diferentemente da ligação iônica ou covalente, é pautado na estrutura da organização dos átomos de forma periódica, por ocorrer o processo de interação de cátions e elétrons nessa estrutura. Logo, para que o estudante aprenda sobre ligação metálica, é preciso aprender tanto sobre a estrutura quanto sobre o processo de interação que ocorre na própria estrutura.

Na relação da aprendizagem da ligação metálica com a estrutura, os conceitos como célula unitária e estrutura cristalina são importantes para que os estudantes tenham conhecimento de como os materiais são formados. Já em relação ao processo de interação, os estudantes devem entender o porquê da interação eletrostática que ocorre nos metais. Além da formação dos cátions fixos como cargas pontuais e os elétrons com movimento cinético por toda a estrutura cristalina, supostamente com o comportamento próximo a de um gás – sendo conveniente ser chamado de gás de elétrons – e por isso apresentarem determinadas propriedades, como maleabilidade, ductilidade e condução de corrente elétrica, etc.

Vale destacar, todavia, que a compreensão da força de atrativa é essencial para explicar as principais propriedades dos metais, condutividade, maleabilidade e ductilidade entre outras, diante de uma abordagem que busque ter foco na interação, pode ser considerado uma progressão ao longo de diferentes níveis de classificação. Isso é considerado mais valioso do que simplesmente descrever a estrutura.

A construção de um modelo pode levar os estudantes à reflexão tanto da estrutura no momento da confecção, quanto dos processos de interação, ao se questionarem da ocorrência

da interação eletrostática dos cátions e elétrons no modelo de gás de elétrons, ao buscarmos respostas para as propriedades dos metais e suas ligas.

Um modelo é sempre uma representação de algo que, por isso mesmo, apresenta limitações. Ao se imaginar um átomo, é representado um modelo de um átomo ou um número de imagens de átomos baseado em vários modelos (CHITTLEBOROUGH, 2014; CROFT; BERG, 2014). Neste caso o modelo é uma representação externa, física e que visa produzir representações internas, agindo na produção de significados para os estudantes.

A construção de um modelo passa pelo processo de elaboração mental, por meio do qual se pretende representar uma ideia de entidades abstratas, nesse caso é o tipo de ligação metálica. No entanto, é necessário reconhecer que um modelo não é a realidade em si. Wartha e Rezende (2011) colocam que a imaginação pode contribuir para a criação de modelos para representar átomos, elétrons e moléculas, dessa forma auxiliar na “construção do conhecimento químico sobre determinado fenômeno” (p. 276).

Justi (2011) aponta alguns objetivos ao trabalhar com modelos, dentro dos quais destacamos três deles: (i) simplificar entidades complexas de forma que seja mais fácil pensar sobre as mesmas; (ii) facilitar a visualização de entidades abstratas; (iii) fundamentar a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade.

Assim, o ensino de química torna-se exigente de uma modelização em nível mental para que ocorra sua assimilação, pela maior parte dos conceitos abordados não serem tangíveis (FRANCISCO JUNIOR; FRANCISCO; SILVA, 2016). Dessa forma, os materiais e o procedimento para a construção desse modelo são apresentados a seguir:

- **Materiais utilizados para a construção da proposta de modelo de ligação metálica**
  - Embalagem descartável retangular (para bolo ou doces), servirá de recipiente;
  - Bolas de isopor grandes (cargas positivas) e outras muito pequenas (elétrons);
  - Agulha e linha;
  - Um secador de cabelos;
  - Uma tesoura pontiaguda;
  - Tinta guache;
  - Pincel.
- **Procedimento para a construção do modelo**
  - Fazer um recorte na tampa (suporte de baixo) para acoplar o secador;
  - Furar a forma em pontos equidistantes com a tesoura, tanto na horizontal, quanto na vertical. Colocar a linha transpassando as bolas de isopor maiores. Em seguida colocar as bolas de isopor bem menores dentro do recipiente (essas ficam soltas).

- acoplar o secador no recipiente e em seguida ligar para observar o que acontece com o sistema. O vento produzido pelo secador fará com que os elétrons (bolinhas pequenas de isopor) adquiram movimento desordenado por toda a estrutura, simulando dessa forma os elétrons presente nos sólidos metálicos.

Outro fator importante é esclarecer para os estudantes as limitações do modelo de ligação metálica. Essas limitações não costumam aparecer nos livros didáticos de química, como apontamos anteriormente. Nessa direção, é importante que tais limitações sejam explicitadas. Algumas delas são enumeradas a seguir, em que apresenta algumas desvantagens e contrapontos do uso do modelo proposto como produto deste trabalho:

**Quadro 6** – Vantagens e desvantagens na apresentação de modelo de célula unitária e estrutura cristalina

	Desvantagens do modelo	Vantagens do modelo
I	O modelo proposto não pode explicar todas as características e propriedades dos metais.	Este tipo de modelo (com bolas de isopor) consegue explicar de forma coerente a maleabilidade dos metais de forma estrutural e comportamento dos elétrons.
II	O modelo pode gerar concepções em que o estudante entenda o modelo como algo que se aplique a todos os sistemas e não observar as exceções.	Vale salientar que o modelo proposto tem a estrutura cúbica de corpo centrado, mas que para visualizar o modelo na forma cúbica simples ou cúbica de face centrada, bastaria construir outro modelo com os mesmos materiais, mas com os íons positivos em posições diferentes.
III	O estudante ainda pode imaginar que a ligação metálica não é um tipo de ligação química, por não haver transferência ou compartilhamento de elétrons;	Assim vale enfatizar o processo de interação eletrostática, é essa interação que é denominada de ligação metálica.
IV	A estabilidade da ligação nos metais pode ser confundida com a regra do octeto.	Alguns átomos realmente ficam com oito elétrons em seus cátions, porém a estabilidade da ligação deve-se a interação eletrostática cátions-elétrons livres na estrutura cristalina.
V	Pode não ficar clara a função da interação eletrostática entre cátions e elétrons na formação da estrutura cristalina e influência nas propriedades dos metais.	É por conta dessa interação que diminui a repulsão entre os cátions dos metais que eles se deformam em vez de quebrarem, como ocorre com os cristais iônicos ou moleculares.
VI	A dimensão e quantidade de elétrons nem sempre é representada corretamente nesses modelos, assim como a eletrosfera do átomo.	O estudante também pode confundir o núcleo do átomo metálico com o íon positivo do metal, o que leva a ignorar os elétrons presentes na eletrosfera do cátion.
VII	O modelo proposto não representa outros tipos de ligações, como os que empregam a mecânica quântica (teoria das bandas de condução).	Está é uma das limitações deste trabalho, logo, o modelo proposto consegue explicar bem os modelos de célula unitária e estruturas cristalinas.
VIII	Torna-se difícil relacionar as propriedades atômicas com as propriedades tangíveis para que possa fazer sentido para o estudante na relação com o cotidiano.	Essa relação, nem sempre o estudante conseguirá fazer de forma autodidata, logo a discussão das possíveis mudanças no modelo para explicar as propriedades partirá da reflexão por eles realizada.

**Fonte:** O autor.

É importante destacar que, por a química ser uma ciência visual, uma imagem do que o estudante dificilmente teria contato no seu dia a dia pode facilitar a aprendizagem, além de contribuir para a criação de um possível modelo mental posteriormente (JUSTI, 2011).

Embora os modelos de ligação metálica tenham suas limitações, uma abordagem atômico-molecular pode ajudar os estudantes na construção de modelos mentais e auxiliar na

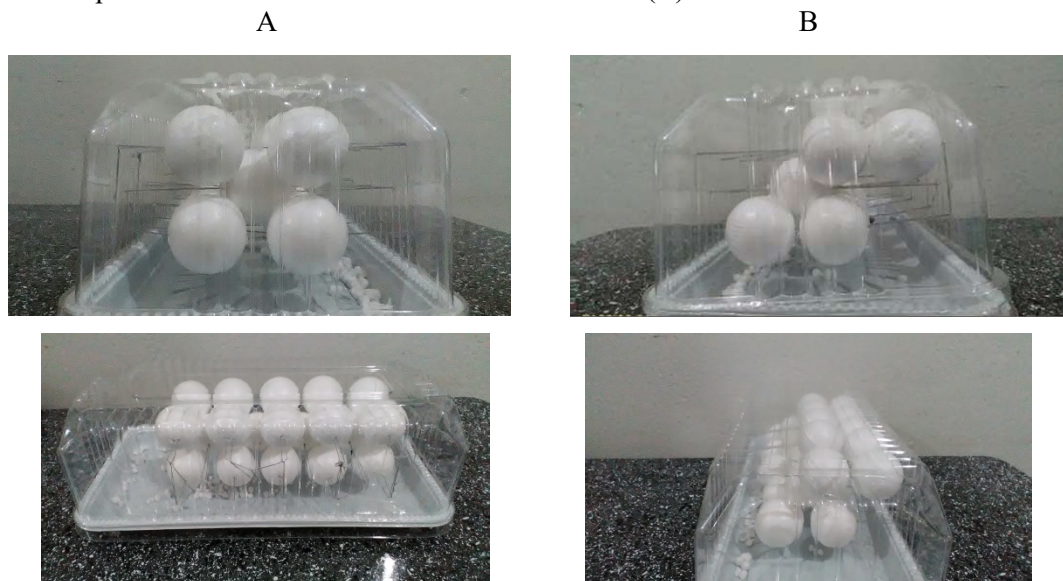
aprendizagem dos conceitos, visto que ao ter contato com os modelos, eles podem refletir sobre a formação e constituição da matéria.

Cabe observar que o modelo proposto (CCC) nesse produto, Figura 22(A), não se aplica a todos os sistemas, assim, abre-se uma oportunidade para que seja construído o modelo de CS ou CFC com os íons positivos em posições diferentes.

Esse modelo proposto ainda pode ser útil para mostrar ao estudante o comportamento aleatório dos elétrons na estrutura cristalina dos sólidos ao discutir a estabilidade dos metais com base na interação eletrostática, ajudando a perceber as limitações dos modelos presente nos livros didáticos, levando a criação de teorias a explicações mais robustas.

Um aspecto interessante que a maior parte dos modelos não representa seria a maleabilidade resultante da aproximação dos cátions, ao abordar a estrutura cristalina dos metais, podendo esta propriedade ser explicada pelo modelo apresentado, mantendo os cátions unidos, mas com deslocamento dos cátions de uns sobre os outros, Figura 22(B), unidos pela força eletrostática.

**Figura 22** – Modelo de estrutura da ligação metálica. Forma cúbica de corpo centrado (A) e deslizamento dos planos da estrutura simulando a maleabilidade (B)



**Fonte:** O autor.

Essa é uma limitação comumente presente em diagramas/modelos estáticos que não podem representar tanto a mobilidade de elétrons quanto a atração entre os elétrons e cátions. Nosso modelo auxilia em parte neste aspecto, tendo em vista que a mobilidade dos elétrons pode ser representada, mas não a atração.

Em geral, quando um modelo é construído a partir do que o estudante conhece, pode ser significativo para a aprendizagem levando a reflexões na sua aprendizagem. Colocamos que todos os modelos devem ser passíveis de profundas reflexões e críticas, devendo dessa



forma, os conceitos trabalhados fornecerem informações importantes na compreensão da construção do conhecimento a cerca da matéria, uma vez que necessariamente não precisam ficar presos a conceitos, mas é necessário que eles aprendam de forma a transitar nas diferentes dimensões do conhecimento.

Em diálogos durante o desenvolvimento desse trabalho, surgiu a proposta de fazer um produto que possa auxiliar o estudante na construção e visualização dos modelos, principalmente ao que se refere ao entendimento em relação à transição das diferentes dimensões do conhecimento. Por exemplo, uma barra de ferro pode assim ser pensada como algo tangível, enquanto que a organização dos seus constituintes, sua estrutura pode simplesmente ter a forma cúbica de corpo centrado. Logo, esse modelo consegue ao mesmo tempo fazer essa transição entre as dimensões fenomenológica e atômico molecular.

Pode-se ter uma abordagem do ponto de vista da dimensão teórico-representacional, ao se aproximar da discussão da história da extração de minérios de ferro, prata e ouro, que remonta ao Brasil do século XVI aos tempos modernos, discutindo-se como ocorrem as extrações, o rendimento do metal por tonelada de minério, etc., podendo tomar um direcionamento para a dimensão sócio-histórica, ao ser abordada a extração dos minérios e recursos naturais de forma geral.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, M. R.; WILLIANSO, V. M. A cross-age study of the understanding of five concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, n. 31, p. 147-165, 1994.
- BRASIL. *Decreto nº 1.006 de 30 de Dezembro de 1938*. Estabelece as condições de produção, importação e utilização do livro didático. Brasília: Ministério da Educação 1938.
- BRASIL. *Decreto nº 91.542 de 19 de agosto de 1985*. Institui o Programa Nacional do Livro Didático. Brasília: Ministério da Educação, 1985.
- BRASIL. *Guia de livros Didáticos PNLD 2015: Apresentação*. Brasília: Ministério da Educação, 2014a.
- BRASIL. *Guia do livro didático PNLD: Química*. Brasília: Ministério da Educação, 2014b.
- BRASIL. *Resolução nº 60 de 20 de Novembro de 2009*. Brasília: Ministério da Educação, 2009.
- CASSIANO, C. C. F. Aspectos políticos e econômicos da circulação do livro didático de História e suas implicações curriculares. *História*, v. 23, n. 1-2, p. 33-48, 2004.
- CHASSOT, A. Raios X e Radioatividade. *Química Nova na escola*, n. 2, p. 19-22, 1995.
- CHENG, M. M. W.; OON, P.-T. Understanding metallic bonding: Structure, process and interaction by Rasch analysis. *International Journal of Science Education*, v. 38, n. 12, p. 1923-1944, 2016.
- CHITTLEBOROUGH, G. Learning with Understanding in the Chemistry Classroom. p. 25-40, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-4366-3>>.
- COLL, R. K.; TREAGUST, D. F. Learners' mental models of metallic bonding: a cross-age study. *Science Education*, v. 87, n. 5, 685-707, 2003.
- CROFT, M.; BERG, K. 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 and Education*, v. 23, n. 9, p. 1733-1761, 2014.
- FNDE. *Dados estatísticos do Plano Nacional do Livro Didático*. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-dados-estatisticos>>.
- FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FRANCISCO, W.; OLIVEIRA, A. C. G. Analogias em livros de química geral destinados ao ensino superior. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 14, n. 3, p. 131-147, 2012.
- FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FRANCISCO, W.; SILVA, E. V. Abordagem de Sólidos Metálicos em Livros Didáticos Brasileiros de Química : Reflexões para a Formação Docente.

*Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnologia*, v. extra, p. 466–473, 2016.

FRANCISCO, W.; FRANCISCO JUNIOR, W. E. Analogias em livros de Química: Uma análise das obras de Química Geral destinadas ao Ensino Superior. *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, p. 12, 2009.

GABEL, D. L. Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, v. 76, n. 4, p. 548–553, 1999.

GABEL, D. L. The complexity of chemistry and its implications for teaching. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K. G. (Org.). *International handbook of science education London*. 1998. v. 1. p. 223–248.

GABEL, D. L.; BRINER, D.; HAINES, D. *Modeling with magnets – a unified approach to chemistry problem solving*. 1992.

Garnet, P. J.; Garnet, P. J.; Hacking, M. W. Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, v. 25, p. 65-95, 1995.

GIBIN, G. B.; KIIL, K. B.; FERREIRA, L. H. Categorização das imagens referentes ao tema equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 8, p. 711–721, 2009.

GOIS, J.; GIORDAN, M. Semiótica na Química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 34–42, 2007.

JOHNSTONE, A. H. *Chemical education in Europe: Curricula and policies*, v. 1, n. 1, p. 9–15, 2000.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer Assisted Learning*, v. 7, p. 75–83, 1991.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias*, v. 24, n. 2, p. 173–184, 2006.

JUSTI, R. Modelos e modelagem no ensino de Química: um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: SANTOS, W.; MALDANER, L. P. (Org.). *Ensino de Química em Foco*. Porto Alegre: UNIJUI, p. 209–232, 2011.

KARPIN, T.; JUUTI, K.; LAVONEN, J. Learning to apply models of materials while explaining their properties. *Research in Science & Technological Education*, v. 5143, p. 37–41, 2014.

LEITE, H. S. A.; PORTO, H. Análise Da Abordagem Histórica Para a Tabela Periódica Em Livros De Química Geral Para O Ensino Superior Usados No Brasil No Século XX. *Química Nova*, v. 38, n. 4, p. 580–587, 2015.

LEMES, A. F. G.; SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. Representações para o Processo

de Dissolução em Livros Didáticos de Química: o Caso do PNLEM. *Química Nova na Escola*, v. 32, n. 3, p. 184–190, 2010.

LIMA, G. Â. B. A transmissão do conhecimento através do tempo: da tradição oral ao hipertexto. *Revista Interamericana de Biblioteconomia*, v. 30, n. 2, p. 275–285, 2007.

LIMA, M. S.; CAMPOS, E. S.; RODRIGUES, A. J. L. Elaboração de questionário para levantamento do material didático utilizado pelos docentes de biologia que atuam nas cidades de anápolis e goiânia. 2005, Goiânia: p. 1–3, 2005.

LOGUERCIO, R. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A Dinâmica de Analisar Livros Didáticos com Professores de Química. *Química Nova*, v. 24, n. 4, p. 557–562, 2001.

LOPES, A. R. C. A concepção de fenômeno no ensino de Química brasileiro através dos livros didáticos. *Química Nova*, v. 17, n. 4, p. 339–341, 1994.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, v. 74, n. 177, p. 309–334, 1993.

LOPES, A. R. C. Potencial de Redução e Eletronegatividade: obstáculo verbal. *Química Nova na Escola*, v. 4, p. 21–23, 1996.

MAHAFFY, P. Chemistry Education and Human Activity. In: GARCÍA-MARTÍNEZ, J.; SERRANO-TORREGROSA, E. (Org.). *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends*. First ed. Alicante, Espanha: Wiley-VCH, p. 3–26, 2015.

MAHAFFY, P. The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 5, n. 3, p. 229–245, 2004.

MARTINS, I. Analisando livros didáticos na perspectiva dos Estudos do Discurso: compartilhando reflexões e sugerindo uma agenda para a pesquisa. *Pro-Posições*, v. 7, n. 1, p. 49, 2006.

MARTINS, I.; SOUSA, G. G.; VILANOVA, R. O livro didático de ciências: contextos de exigência, critérios de seleção, práticas de leitura e uso em sala de aula. v. 1, n. 1, p. 198, 2012.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 2, p. 67–91, 2000.

MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto*, v. 7, n. 40, p. 25–41, 1988.

NAKHLEH, M. B. Students' models of matter in the context of acid-base chemistry. *Journal of Chemistry Education*, v. 71, n.6, p. 495-499, 1994.

NAKHLEH, M. B. Are our students' conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education*, v. 70, n.1 p. 50-55, 1993.

- NAKHLEH, M. B.; MITCHELL, R. C. Concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, v. 70, n. 3, p. 190-192, 1993.
- PASELK, R. Visualization of the abstract in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 71, n. 3, p. 255, 1994.
- POSADA, J. M. Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 11, n. 1, p. 12-19, 1993.
- POSADA, J. M. Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution. *Science Education*, v. 81, n. 4, 445-467, 1997.
- POSADA, J. M. The presentation of metallic bonding in high school science textbooks during three decades: Science educational reforms and substantive changes of tendencies. *Science Education*, 83, v. 4, p. 423-447, 1999.
- ROSA, M. I. P.; TOSTA, A. H. CONSTITUTIVOS DA DISCIPLINA NO COTIDIANO The place of chemistry in the school: movements constitutive of the subject in the daily school. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p. 253-262, 2006.
- ROZENTALSKI, E. F.; PORTO, P. A. Imagens de orbitais em livros didáticos de química geral no século xx: uma análise semiótica. *Investigações em Ensino de Ciências (Online)*, v. 20, n. 1, p. 181-207, 2015.
- SANTOS, H. F. O Conceito da Modelagem Molecular. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, v. 4, p. 4-5, 2001.
- SCHNETZLER, R. P. *Um Estudo sobre o Tratamento do Conhecimento Químico em Livros Didáticos Brasileiros Dirigidos ao Ensino Secundário de Química de 1875 a 1978*. *Química Nova*, 1981
- SIGANSKI, B. P.; FRISON, M. D.; BOFF, E. T. O livro Didático e o Ensino de Ciências. *XIV Encontro nacional de ensino de química*, p. 1-11, 2008.
- SILVA, T. P. *et al.* Análise de livros didáticos de química do PNLEM 2012. *5º congresso Norte-Nordeste de Química; 3º Encontro Norte-Nordeste de Ensino de Química*, n. 1999, 2013.
- SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 2, p. 159-182, 2013.
- SIRHAN, G. Learning Difficulties in Chemistry: An Overview. *Journal of Turkish Science Education*, v. 4, n. 2, p. 2-20, 2007.
- SOLBES, J.; VILCHES, A. Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. *Educación en Ciencias*, v. 9, n. 1, p. 53-58, 1991.

- SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. Estratégias visuais na construção de uma realidade química: análise semiótica das ilustrações em livros didáticos ao longo do século XX. *III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Campinas, 2011.
- TABER, K. S. Mediating Mental Models of Metals: Acknowledging the Priority of the Learner's Prior Learning. *Science Education*, v. 87, n. 5, p. 732–758, 2003.
- TABER, K. S.; COLL, R. Chemical Bonding. In: GILBERT, J. K. (Org.). *Chemical Education: Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2002. p. 213–234.
- TALANQUER, V. Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, v. 33, n. 2, p. 179–195, 2011.
- TEIXEIRA, C. Os cristais no ensino e divulgação da Química. *Colóquio de Ciências*, Fundação Calouste Gulbenkian. p. 20–36, 2000.
- TREAGUST, D.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 11, p. 1353–1368, 2003.
- UYULGAN, M. A; ÖZBAYRAK, Ö. A; SIBEL K.; ALPAT, Ş. Opinions of teachers and students on secondary education chemistry textbooks. *Procedia Computer Science*, v. 3, p. 1126–1130, 2011.
- VAHL, M. M.; PERES, E. As disputas editoriais no campo do programa do livro didático para o ensino fundamental do instituto nacional do livro – PLIDEF/INL(1971-1976). *História da Educação*, v. 20, n. 50, p. 219–241, 2016.
- VALLADARES, J. D. J.; PALACIOS, F. J. P. Las ilustraciones em la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 20, n. 3, p. 369–386, 2002.
- VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A História da Ciência nos livros didáticos de Química do PNLEM 2007. *Ciência & Educação*, v. 18, n. 2, p. 291–308, 2012.
- WARTHA, E. J.; REZENDE, D. B. A elaboração conceitual em química orgânica na perspectiva da semiótica Peirceana. *Ciênc. educ.*, v. 16, n. 2, p. 275–290, 2015.

