

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM  
CIÊNCIAS: QUÍMICA DA VIDA E SAÚDE**

**Maurícus Selvero Pazinato**

**LIGAÇÕES QUÍMICAS: INVESTIGAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO  
CONHECIMENTO NO ENSINO MÉDIO**

Santa Maria, RS  
2016

**Maurícus Selvero Pazinato**

**LIGAÇÕES QUÍMICAS: INVESTIGAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO  
CONHECIMENTO NO ENSINO MÉDIO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Educação em Ciências**.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mara Elisa Fortes Braibante

Santa Maria, RS  
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pazinato, Maurícius Selvero

Ligações químicas: Investigação da construção do conhecimento no ensino médio / Maurícius Selvero Pazinato.- 2016.

370 p. ; 30 cm

Orientadora: Mara Elisa Fortes Braibante

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, RS, 2016

1. Ligações químicas 2. Construção do conhecimento 3. Perfil epistemológico I. Braibante, Mara Elisa Fortes II. Título.

Maurícus Selvero Pazinato

**LIGAÇÕES QUÍMICAS: INVESTIGAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO  
CONHECIMENTO NO ENSINO MÉDIO**

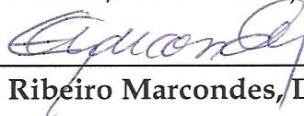
Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Educação em Ciências**.

Aprovado em 15 de julho de 2016:



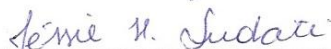
---

Mara Elisa Fortes Braibante, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)  
(Presidente/Orientadora)



---

Maria Eunice Ribeiro Marcondes, Dr<sup>a</sup>. (USP)




---

Jéssie Haigert Sudati, Dr<sup>a</sup>. (UNIPAMPA)



---

Martha Bohrer Adaime, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)



---

Élgion Lucio da Silva Loreto, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS  
2016

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível devido à colaboração de pessoas incríveis que tive o prazer de trabalhar e conviver. Em 2016, completo dez anos de LAEQUI, período único de minha vida, que tive aprendizados imensuráveis e fiz amizades valiosas (mais imensuráveis ainda).

Em primeiro lugar, agradeço a professora **Mara**, melhor orientadora e grande amiga, profissional que admiro e me espelho. Muito obrigado por todas as oportunidades e ensinamentos que me proporcionou ao longo desses anos. É com enorme carinho que recordarei cada e-mail e mensagem trocados, inclusive aos sábados e domingos, para que eu conseguisse encerrar a tese. Serei eternamente grato por tudo!

Estendo o meu agradecimento ao professor **Hugo**. Agradeço a amizade construída e ressalto a importância de nossos “cafés” acompanhados de discussões científicas e educacionais para o meu aprendizado e desenvolvimento desta tese.

Agradeço aos meus colegas de grupo, desde a primeira geração até os atuais. Obrigado pelo excelente convívio e por terem compartilhado comigo seus conhecimentos. Lembro-me da defesa de cada um de vocês, dos momentos de apreensão e nervosismo prévios, mas também da torcida e comemorações das conquistas. Essas ocasiões me fizeram perceber o verdadeiro valor de um grupo como o nosso. A cada defesa que passava, tive que aprender a lidar com a ausência “diária” de vocês, suprida em parte pelos novos colegas que chegavam e pelos momentos que nos reencontrávamos. Mas, nem sempre foi fácil...

É com gratidão e saudades que me lembro do convívio, proporcionado pela salinha, com a **Marcele**, amiga desde a infância e companheira inseparável até o mestrado; **Denise**, hoje colega na UNIPAMPA; **Giovanna**, parceira de tantos momentos da vida e acadêmicos; **Leandro**, sempre tranquilo e pronto para ajudar; **Fernando**, sempre apressado. É com o mesmo sentimento que me recordo da **Janessa**, **Rita**, **Ediane**, **Ângela** (Diva), **Sabrina** e **Greyce**.

O meu muito obrigado às atuais mestrandas do LAEQUI: **Alejandra**, **Arlete**, **Fabi**, **Michele** e **Valesca**, pelo convívio, contribuições e conversas científicas e não científicas. Minha gratidão às atuais doutorandas: **Ângela** (Kraisly) e **Thaís**, pela parceria e amizade estabelecida. Em especial, à **Ana Carolina**, obrigado por estar sempre disposta a ajudar o grupo, pela lealdade de sua amizade e por ser uma das responsáveis pela concretização deste trabalho.

O meu sincero agradecimento à professora **Maria Eunice**, minha referência na área de ensino de Química, pelas indicações de leituras, correções e contribuições nesta tese. Para mim, os trabalhos desenvolvidos pelo GEPEQ são inspiradores e sinônimos de qualidade!

Agradeço aos professores que compuseram a banca examinadora deste trabalho: prof<sup>a</sup>. **Jéssie** Sudati, prof<sup>a</sup>. **Martha** Adaime, prof. **Élgion** Loreto e as prof<sup>as</sup>. **Cláudia** Barin e **Marlene** Melo (qualificação), pelas valiosas contribuições que qualificaram meu trabalho.

Também agradeço aos demais professores do PPGEQVS por todas as discussões e ensinamentos e ao **Gisandro** pela sua disponibilidade e maneira gentil com que me auxiliou na parte burocrática, na qual não tenho muito aptidão.

Muito obrigado a todos que participaram como **sujeitos desta pesquisa**: estudantes, professores da educação básica e universitários. As contribuições de vocês foram de extrema relevância. Expresso minha gratidão às escolas que acolheram esta proposta e oportunizaram a obtenção dos dados na segunda parte da pesquisa, em especial às duas professoras que disponibilizaram seu tempo e suas turmas para a aplicação da SEA ou acompanhamento das classes controles. Profissionais dedicadas que fazem a diferença para o ensino de Química. Minha gratidão aos alunos que aceitaram participar da segunda parte desta pesquisa e se empenharam a cada atividade desenvolvida.

Registro meu obrigado à direção e coordenação do campus Dom Pedrito da UNIPAMPA, que permitiu com que dedicasse parte do meu tempo à realização desse trabalho. Agradeço aos meus “prezados” colegas do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza (LCN): **Jéssie, Janaína, Franciele, Guilherme, Crisna, Leonardo e Rafael**, pelos agradáveis momentos partilhados e por estarem na torcida pelo meu sucesso. Obrigado pela compreensão nos meus dias de afastamento. Também agradeço aos meus alunos da LCN, em particular à **Renata**, minha primeira aluna de IC, por colaborar de maneira tão dedicada com este trabalho. Também agradeço às minhas primeiras alunas de TCC, **Ticiane e Bianca**, pelas diversas trocas que a orientação nos proporcionou e pela alegria de dividirmos o gosto pelo ensino de Química.

Gostaria de agradecer aos que me “aturam” fora do ambiente acadêmico. O meu muito obrigado aos meus pais, **Carmem** e **José**, pela educação, incentivo, ajuda a cada dificuldade e por sempre acreditarem que eu conseguiria. Agradeço aos meus irmãos, **Vinícius, Fabrício** e **Cássius**, e a minha sobrinha “preferida” **Flavinha**, pelo companheirismo e por celebrarem minhas conquistas.

À **Andressa**, agradeço por todo amor, paciência, compreensão e por ser essa pessoa tão especial e maravilhosa! Obrigado por dividir comigo todas as alegrias e me auxiliar em todos os obstáculos, além das ajudas acadêmicas. É muito bom ter ao lado uma pessoa com tamanha sabedoria.

O meu muito obrigado a todos os meus familiares (**tios e primos**), em especial ao **Gui** e à **Gabi**, primos de sangue e irmãos de coração, com quem divido o meu cotidiano em Santa Maria e fazem meus dias mais alegres. Acrescento aos meus agradecimentos a família da Andressa (**tios e primos**), em especial à **Vó Dilene**, à **Andrea**, ao **Beto**, à **Ane**, á tia **Márcia**, ao **Adair** e ao **Arthur**, pela amizade, acolhimento e torcida!

Por fim, agradeço a Deus por ter permitido que tudo isso acontecesse.

Tenho muito sorte e sou muito feliz por tê-los como amigos. Muito obrigado por fazerem parte da minha história!

*Em nossa vida, toda a vez que iniciamos uma nova jornada, os obstáculos a serem vencidos são muitos e, muitas vezes, parecem ser intransponíveis. Isto acontece desde que nascemos! Já em nosso primeiro ano de vida, começamos aprender a andar. Troçamos, caímos, levantamos... mas aprendemos. [...] Saber estrutura atômica e ligação química em nossa vida profissional, é comparável ao saber andar em nossa vida pessoal. Troçamos, caímos, levantamos... mas aprendemos.*

*Pedro Faria dos Santos Filho*

## RESUMO

### LIGAÇÕES QUÍMICAS: INVESTIGAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NO ENSINO MÉDIO

AUTOR: Maurícus Selvero Pazinato  
ORIENTADORA: Mara Elisa Fortes Braibante

As ligações químicas constituem a base para a compreensão da formação e do comportamento das substâncias presentes no cotidiano. O foco de investigação desta pesquisa foi o ensino e a aprendizagem das ligações químicas no ensino médio e os objetivos principais foram realizar um diagnóstico de como o conteúdo está sendo desenvolvido neste nível, bem como investigar o processo de construção do conhecimento pelos estudantes da 1ª série do ensino médio, por meio de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) e do ensino tradicional. Para alcançar tais objetivos, esta pesquisa foi desenvolvida em duas partes. Na primeira parte, foram realizadas três investigações que forneceram indícios do tratamento dado às ligações químicas no ensino médio. Seguindo princípios da pesquisa qualitativa, os dados foram coletados por meio de instrumentos elaborados a partir de orientações descritas pela literatura ou para os fins específicos de cada investigação. Nesta parte da pesquisa, investigou-se: - as concepções sobre ligações químicas de 124 estudantes da 1ª série do ensino médio de duas escolas públicas e uma privada da região de Santa Maria, RS, que já tinham estudado o tópico formalmente em sala de aula; - a abordagem das ligações químicas nos livros didáticos (PNLD 2015-2017), por intermédio da análise dos capítulos referentes ao tópico de cada obra; - a percepção de quatro professores do nível médio e dois professores universitários sobre o ensino de ligações químicas. Os resultados obtidos forneceram o seguinte panorama: os tópicos estabilidade química e natureza das interações entre átomos e íons estão sendo desenvolvidos de forma inadequada, por meio de modelos que provocam distorções conceituais. Além disso, a metodologia tradicional predomina nas aulas e o ensino está pautado na transmissão de conteúdos com auxílio do livro didático. Baseado nisso, foram planejadas e desenvolvidas intervenções com enfoque no estudo da estabilidade química fundamentado em aspectos energéticos e no modelo eletrostático para cada tipo de ligação interatômica. Na segunda parte da pesquisa, a investigação da construção do conhecimento em ligações químicas ocorreu mediante o acompanhamento de quatro turmas da 1ª série do ensino médio, totalizando 50 sujeitos. O conteúdo foi desenvolvido pelos professores regentes em duas turmas por meio da SEA e nas outras duas pelo método tradicional. Para a análise dos dados, considerou-se a teoria de Bachelard e quatro dimensões, que são: estabilidade química, ligação iônica, ligação covalente e ligação metálica. Inicialmente, as concepções dos estudantes em cada dimensão foram avaliadas em zonas filosóficas e posteriormente, em níveis hierárquicos. Ao final da pesquisa, foi traçado um perfil epistemológico para cada estudante a partir da avaliação das dimensões consideradas. O acompanhamento das ideias dos estudantes, dos dois contextos, ao longo do estudo das ligações químicas revelou que a construção do conhecimento se deu pela superação de obstáculos epistemológicos atrelados às zonas filosóficas realista e empirista. Detectou-se que a maior parte dos estudantes do contexto da SEA (55,2%) e tradicional (66,6%) apresentou um perfil majoritariamente racionalista ao final da pesquisa. Os resultados sugerem que existe relação entre a zona do perfil epistemológico e a capacidade de transição entre os níveis de representação da matéria, visto que as explicações que relacionaram, simultaneamente, os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico foram emitidas por estudantes que apresentaram perfis racionalistas. Além disso, observou-se uma vantagem da SEA, em relação ao contexto tradicional, quanto à aptidão dos estudantes em empregar concomitantemente os três níveis de representação. Por fim, este estudo evidenciou que é importante clareza teórica em relação aos modelos curriculares e planejamento didático para que se obtenham resultados satisfatórios no ensino de ligações químicas.

**Palavras-chave:** Ligações químicas. Construção do conhecimento. Perfil epistemológico.



## ABSTRACT

### CHEMICAL BONDS: INVESTIGATION OF THE KNOWLEDGE CONSTRUCTION IN HIGH SCHOOL

AUTHOR: Maurícus Selvero Pazinato

ADVISOR: Mara Elisa Fortes Braibante

Chemical bonds form the basis for understanding the formation and behavior of the substances in everyday life. The investigation focus of this survey was the teaching and learning of chemical bonds in high school, and the main objectives were to make a diagnosis of how the content is being developed at this level, as well as to investigate the process of knowledge construction by the students of the 1st year of high school, through a Teaching-Learning Sequence (TLS) and traditional teaching. In order to achieve such objectives this survey was conducted in two parts. In the first part there were three investigations which provided evidence of the importance given to chemical bonds in high school. Following the principles of qualitative survey the data were collected using instruments made from guidelines described in the literature or for the specific purposes of each investigation. In this part of the study we investigated: - the concepts of chemical bonds of 124 students of the 1st year of high school from two public schools and a private school in the region of Santa Maria, RS, who had already studied the topic formally in class; - The approach of the chemical bonds in textbooks (PNLD 2015-2017), through the analysis of chapters related to the topic of each title - The perception of four high school teachers and two professors about the chemical bonds education. The results provided the following picture: the topics chemical stability and nature of the interaction between atoms and ions are being developed inappropriately, by using models that cause conceptual distortions. Moreover, the traditional method prevails in class and teaching is focused on the transmission of content with the help of the textbook. Based on this, interventions were planned and developed focusing on the study of the chemical stability based on energy aspects and the electrostatic model for each type of interatomic bond. In the second part of the survey, the investigation of knowledge construction in chemical bonds occurred by monitoring four classes of the 1st year of high school, in a total of 50 subjects. The content was developed by school teachers in two classes through the TLS and the other two by the traditional method. For data analysis, it was considered Bachelard theory and four dimensions, which are: chemical stability, ionic bond, covalent bond, metallic bond. Initially, the conceptions of the students in each dimension were evaluated in philosophical areas and later in hierarchical levels. At the end of the survey, it was drawn an epistemological profile for each student from the assessment of the considered dimensions. Monitoring the ideas of the students, from the two contexts, throughout the study of chemical bonds revealed that the construction of knowledge happened by overcoming epistemological obstacles linked to realistic and empiricist philosophical areas. It was observed that most of the students from the TLS context (55,2%) and traditional (66,6%) had primarily a rational profile at the end of the survey. The results suggest that there is a relationship between the area of epistemological profile and the capacity of transition between the levels of representation of matter, as the explanations related simultaneously the macroscopic, submicroscopic and symbolic levels were given by the students who had rationalists profiles. In addition, there was an advantage of TLS in relation to the traditional context, related to the aptitude of the students to employ the three levels of representation at the same time. Finally, this study showed that it is important to have theoretical explicitness regarding the curriculum models and educational planning in order to obtain satisfactory results in the chemical bonds education.

**Keywords:** Chemical bonds. Knowledge Construction. Epistemological profile.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
<b>CAPÍTULO 1 - TÓPICOS RELEVANTES PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS</b> .....	19
1.1 VISÃO GERAL SOBRE O ENSINO E A APRENDIZAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	19
1.2 OS ESTUDANTES COMO FOCO DE PESQUISA.....	22
1.3 OS LIVROS DIDÁTICOS COMO FOCO DE PESQUISA .....	37
1.4 OS PROFESSORES COMO FOCO DE PESQUISA.....	45
<b>CAPÍTULO 2 - RESGATE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM LIGAÇÕES QUÍMICAS E A NOÇÃO DO PERFIL EPISTEMOLÓGICO</b> .....	53
2.1 BREVE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM LIGAÇÕES QUÍMICAS.....	53
2.2 LIGAÇÕES QUÍMICAS INTERATÔMICAS NO ENSINO MÉDIO: NATUREZA E MODELOS CURRICULARES .....	69
2.3 PERFIL EPISTEMOLÓGICO: INTRODUÇÃO ÀS IDEIAS DE BACHELARD.....	73
<b>CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA</b> .....	81
3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA .....	81
<b>UNIDADE I - LIGAÇÕES QUÍMICAS NO ENSINO MÉDIO</b> .....	84
I.1 CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS APÓS O ENSINO FORMAL .....	84
<b>I.1.1 Percurso metodológico</b> .....	85
<b>I.1.2 Análise dos dados</b> .....	88
<i>I.1.2.1 Dimensão Estabilidade química</i> .....	89
<i>I.1.2.2 Dimensão Reconhecimento dos tipos de ligações químicas</i> .....	91
<i>I.1.2.3 Dimensão Natureza das ligações químicas</i> .....	91
<b>I.1.3 Apresentação e discussão dos resultados</b> .....	92
<i>I.1.3.1 Estabilidade química</i> .....	92
<i>I.1.3.2 Tipos de ligações químicas</i> .....	100
<i>I.1.3.3 Natureza das ligações químicas</i> .....	102
I.2 ABORDAGEM DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	110
<b>I.2.1 Método de análise dos LD</b> .....	111
<i>I.2.1.1 Tratamento do tópico ligação química nos LD</i> .....	112
<i>I.2.1.2 Abordagem conceitual e representação</i> .....	112
<i>I.2.1.3 Recursos visuais</i> .....	115
<b>I.2.2 Apresentação e discussão do resultados</b> .....	119
<i>I.2.2.1 Tratamento do tópico ligações químicas pelos LD</i> .....	119
<i>I.2.2.2 Abordagem conceitual e representação</i> .....	126
<i>I.2.2.3 Recursos visuais</i> .....	134
I.3 PERCEPÇÃO DOS PROFESSORES DOS NÍVEIS MÉDIO E SUPERIOR SOBRE O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS .....	144
<b>I.3.1 Entrevista com professores do ensino médio</b> .....	146
<b>I.3.2 Entrevista com professores universitários</b> .....	147
<b>I.3.3 Análise dos dados</b> .....	147
<b>I.3.4 Apresentação e discussão dos resultados</b> .....	151

I.3.4.1	<i>Investigação com os professores do ensino médio</i>	151
I.3.4.2	<i>Investigação com os professores universitários</i>	164
I.4	<b>SÍNTESES DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA</b>	165
	<b>UNIDADE II - A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM LIGAÇÕES QUÍMICAS NO ENSINO MÉDIO</b>	167
II.1	<b>CONTEXTO DA APLICAÇÃO</b>	168
<b>II.1.1</b>	<b>Sequência de Ensino e Aprendizagem</b>	170
II.1.1.1	<i>Alicerce teórico</i>	170
II.1.1.2	<i>Elaboração da SEA</i>	173
II.1.1.3	<i>Descrição da SEA</i>	179
II.1.1.3.1	Eixo 1: Energia	179
II.1.1.3.2	Eixo 2: Ligação iônica	182
II.1.1.3.3	Eixo 3: Ligação covalente	185
II.1.1.3.4	Eixo 4: Ligação metálica	190
<b>II.1.2</b>	<b>Ensino Tradicional</b>	192
II.2	<b>COLETA DE DADOS</b>	193
II.3	<b>SUJEITOS DA PESQUISA</b>	194
<b>II.3.1</b>	<b>Sujeitos do contexto da SEA</b>	195
<b>II.3.2</b>	<b>Sujeitos do contexto tradicional</b>	196
<b>II.3.3</b>	<b>Codificação dos Sujeitos da pesquisa</b>	197
II.4	<b>MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS</b>	197
II.5	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	209
<b>II.5.1</b>	<b>Dimensão - Estabilidade química</b>	209
II.5.1.1	<i>Emerção de categorias</i>	209
II.5.1.2	<i>Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis</i>	222
<b>II.5.2</b>	<b>Dimensão - Ligação iônica</b>	231
II.5.2.1	<i>Emerção de categorias</i>	231
II.5.2.2	<i>Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis</i>	249
<b>II.5.3</b>	<b>Dimensão - Ligação covalente</b>	257
II.5.3.1	<i>Emerção de categorias</i>	257
II.5.3.2	<i>Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis</i>	274
<b>II.5.4</b>	<b>Dimensão - Ligação metálica</b>	282
II.5.4.1	<i>Emerção de categorias</i>	282
II.5.4.2	<i>Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis</i>	295
<b>II.5.5</b>	<b>Construção do perfil epistemológico para as ligações químicas</b>	302
II.5.5.1	<i>Contexto da SEA</i>	302
II.5.5.2	<i>Contexto tradicional</i>	307
II.6	<b>SÍNTESE DOS RESULTADOS</b>	310
	<b>CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	313
	<b>REFERÊNCIAS</b>	321
	<b>APÊNDICE A - INSTRUMENTO INVESTIGATIVO</b>	333
	<b>APÊNDICE B - ROTEIRO DAS ENTREVISTAS COM OS PROFESSORES</b>	334
	<b>APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO A</b>	335
	<b>APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO B</b>	337
	<b>APÊNDICE E - ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL “ENERGIA ENVOLVIDA NA FORMAÇÃO E ROMPIMENTO DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS”</b>	338
	<b>APÊNDICE F - TEXTOS DISPONIBILIZADOS AOS ESTUDANTES</b>	339

APÊNDICE G - QUESTIONÁRIO C.....	342
APÊNDICE H - QUESTIONÁRIO D.....	343
APÊNDICE I - EXERCÍCIO REFERENTE À FORMAÇÃO DE ÍONS.....	344
APÊNDICE J - TESTE DO MODELO CONSTRUÍDO PARA O CLORETO DE SÓDIO A PARTIR DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.....	345
APÊNDICE K - ENERGIA LIBERADA NA FORMAÇÃO DE UMA LIGAÇÃO NO HCl E NaCl E ENERGIA LIBERADA NA FORMAÇÃO DA SUBSTÂNCIA CLORETO DE SÓDIO SÓLIDO.....	346
APÊNDICE L - TEXTO SOBRE RETÍCULO CRISTALINO .....	347
APÊNDICE M - EXERCÍCIO PARA O ESTUDO DA ENERGIA RETICULAR ...	348
APÊNDICE N - MATERIAL CORRESPONDENTE AO CICLO DE BORN-HABER E AS PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS IÔNICAS .....	349
APÊNDICE O - QUESTIONÁRIO E .....	351
APÊNDICE P - QUESTIONÁRIO F.....	352
APÊNDICE Q - EXERCÍCIO PARA RELACIONAR AS TEMPERATURAS DE FUSÃO COM O TIPO DE LIGAÇÃO COVALENTE.....	353
APÊNDICE R - REVISÃO SOBRE ELETRONEGATIVIDADE E EXERCÍCIOS DE DENSIDADE ELETRÔNICA.....	354
APÊNDICE S - TEXTO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE LIGAÇÃO COVALENTE .....	355
APÊNDICE T - TESTE DOS MODELOS CONSTRUÍDOS PARA AS MOLÉCULAS DE H <sub>2</sub> E HF E PARA O RETÍCULO CRISTALINO DO NaCl A PARTIR DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS .....	356
APÊNDICE U - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL “NEM TUDO QUE RELUZ É OURO” .....	357
APÊNDICE V - SOLVATAÇÃO E CARÁTER DAS LIGAÇÕES.....	358
APÊNDICE W - QUESTIONÁRIO G.....	359
APÊNDICE X - QUESTIONÁRIO H.....	360
APÊNDICE Y - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE DE MODELAGEM “UM MODELO DE INTERAÇÃO ENTRE ÁTOMOS METÁLICOS” .....	361
APÊNDICE Z - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL “VERIFICAÇÃO DA CONDUÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA” .....	362
APÊNDICE AA - TEXTO SOBRE AS PROPRIEDADES DOS SÓLIDOS IÔNICOS, COVALENTES E METÁLICOS .....	363
APÊNDICE AB - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL “APLICANDO UMA FORÇA EM DIFERENTES SÓLIDOS” .....	364
APÊNDICE AC - QUESTIONÁRIO FINAL EIXO LIGAÇÃO METÁLICA.....	365
APÊNDICE AD - QUESTIONÁRIO J.....	366
APÊNDICE AE - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO INDIVIDUAL DAS RESPOSTAS DOS SUJEITOS DO CONTEXTO DA SEA EM CATEGORIAS.....	368
APÊNDICE AF - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO INDIVIDUAL DAS RESPOSTAS DOS SUJEITOS DO CONTEXTO TRADICIONAL EM CATEGORIAS.....	369
ANEXO 1 - DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM .....	370

## INTRODUÇÃO

O estudo da matéria, suas propriedades e transformações estão alicerçados no conhecimento de dois conteúdos considerados fundamentais na Química: *estrutura da matéria* e *ligações químicas*. Não há como entender a constituição e os fenômenos da natureza, sob a óptica da Ciência, sem ter uma noção dos conceitos e das leis que regem a estrutura dos átomos e as formas como se ligam.

Proporcional à importância destes conteúdos é a complexidade dos mesmos, que além de abstratos, exigem a transição entre os diferentes níveis de representação da matéria: macroscópico, submicroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 1993, 2000). O verdadeiro sentido de aprender conteúdos de Química, como estrutura atômica e ligações químicas, está relacionado à capacidade de associar estes três níveis na interpretação de fatos cotidianos. De acordo com Casado e Raviolo (2005, p. 36, tradução nossa) “[...] saber química é poder aplicar os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, de uma forma relacionada, no estudo de um fenômeno”.

Apesar do entendimento desses tópicos proporcionarem a compreensão do mundo e do cotidiano de uma maneira mais clara, algumas pesquisas (MELO, 2002; MENDONÇA; JUSTI, 2009a, 2009b) advertem para a maneira como estão sendo desenvolvidos os conteúdos básicos da Química no ensino médio. Dentre as principais críticas, destacam-se o emprego de uma linguagem fragmentada envolvendo conceitos inadequadamente conectados, bem como uma abordagem aproblemática e sem a utilização de modelos apropriados que permitam o entendimento desses tópicos a luz dos níveis de representação de matéria.

Dentro deste contexto, optou-se pelo tema ligações químicas como foco de investigação neste trabalho. Esta escolha justifica-se por considerá-lo imprescindível para o estudo da Química em qualquer nível de ensino, além de sua compreensão proporcionar um melhor entendimento das transformações que ocorrem no cotidiano. Em consonância com isso, Santos Filho (2007) alerta que é necessário se familiarizar com o conceito de ligação química, pois o considera um dos mais importantes, senão o mais importante dentro da Química. O autor afirma que:

Sabendo o seu significado e suas implicações, poderemos entender a razão da existência de certos compostos bem como a inexistência de outros; por que ocorre uma reação química e qual é o caminho segundo o qual a mesma ocorre; por que certas espécies são solúveis em determinados solventes enquanto que outras não; por que alguns sólidos são condutores de eletricidade e calor e outros não; como agem os sabões e os detergentes; por que certos compostos são coloridos e por que os indicadores mudam de cor dependendo do meio em que se encontram; por que algumas substâncias são extremamente nocivas à saúde podendo inclusive serem fatais. Enfim, o perfeito conhecimento da natureza da ligação química nos permite observar o mundo que nos cerca de uma maneira muito mais clara (SANTOS FILHO, 2009, p. 13).

Além disso, acredita-se que é preciso dispensar maior atenção para o desenvolvimento dos conceitos relacionados às ligações químicas no ensino médio. Ao final deste nível de ensino, segundo os documentos oficiais, o estudante deve compreender as ligações químicas como resultantes de interações eletrostáticas entre átomos, moléculas ou íons de forma a se obter uma maior estabilidade, além de utilizar a teoria quântica para uma interpretação mais completa das ligações e propriedades químicas (BRASIL, 2002, 2006). Ao concluir o ensino médio, o estudante deverá ser capaz de “relacionar as propriedades macroscópicas das substâncias e as ligações químicas entre seus átomos, moléculas ou íons” (BRASIL, 2002, p. 98).

Entretanto, a literatura da área de ensino de Química revela que as abordagens das ligações químicas no nível médio, e em outros níveis de ensino, não estão correspondendo às expectativas descritas pelos documentos oficiais. Alguns resultados, obtidos em outras pesquisas, mostram que os estudantes:

- não apresentam justificativas plausíveis e relacionadas com os aspectos energéticos para explicar a estabilidade de compostos químicos (MORTIMER; MOL; DUARTE, 1994; TABER, 2000; FRANCO; RUIZ, 2006);
- confundem os principais tipos de ligações interatômicas (TAN; TREAGUST, 1999; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006; FERNANDES; CAMPOS; MARCELINO JÚNIOR, 2010);

- não compreendem a natureza dos diferentes tipos de ligação química. Para eles a ligação iônica ocorre devido à transferência de elétrons, a ligação covalente pelo compartilhamento de elétrons e a metálica pela transferência ou compartilhamento de elétrons (SOLBES; VILCHES, 1991; MENDONÇA; JUSTI, 2009a);
- não possuem modelos condizentes com os aceitos cientificamente, que os permitam entender os conceitos abstratos desse tópico (CARVALHO; JUSTI, 2005a; MENDONÇA, 2008; LIMA; NÚÑEZ, 2012);
- durante as representações das ligações químicas, não diferem retículos cristalinos de moléculas, sendo que o modelo molecular é mais utilizado (DE POSADA, 1999; RIBOLDI; PLIEGO; ODETTI, 2004; MENDONÇA; JUSTI, 2009a, 2009b);
- não relacionam os aspectos macroscópicos e as propriedades dos compostos com a representação submicroscópica referente às ligações químicas (COLL; TREAGUST, 2003a).

Os resultados dessas investigações são considerados indícios de que o ensino e a aprendizagem do conteúdo de ligações químicas não estão ocorrendo de forma eficaz. Ainda, reforçam a tese de que o tópico possui grande potencial para gerar concepções equivocadas ou alternativas aos modelos científicos. Essas constatações apontam para a necessidade de mais pesquisas sobre o tema em questão.

As ligações químicas podem ser interpretadas por diferentes teorias e abordagens. As primeiras menções dentro da Química sobre a maneira como os átomos se ligam são do século XIX, quando a partir das ideias da lei da conservação da matéria de Lavoisier (1743-1794), foram enunciadas a lei das proporções definidas de Joseph Proust (1754-1826) e os equivalentes de ácidos e bases que se combinam em reações de neutralização propostos por Jeremias Richter (1762-1807) (BEZERRA; SILVA, 2001). Esses acontecimentos impulsionaram muitos estudos e a partir daí

foram sendo acrescentadas noções de natureza elétrica, da física clássica e da quântica à teoria das ligações químicas, até chegar ao modelo atualmente aceito pela comunidade científica.

Durante o período histórico de evolução da teoria das ligações químicas foram utilizadas diferentes representações e modelos fundamentados em dois aportes científicos: a física clássica e a quântica. Com isso, uma diversidade de representações foi sendo empregada no ensino, muitas vezes, sem um devido cuidado do professor ou dos materiais didáticos. Fernandez e Marcondes (2006) alertam para esse problema quando afirmam que

[...] tanto nos textos como em sala de aula, os átomos e as moléculas são representados de muitas maneiras: como círculos, bolas, núcleo e camadas, bolas separadas ou juntas etc. Os autores desses textos e os professores provavelmente supõem que os alunos compreendem facilmente o que isso significa (diferentes modelos com diferentes propósitos) (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006, p. 23).

O tópico ligações químicas constitui um campo conceitual vasto e que apresenta diferentes significados em contextos específicos. A partir desta premissa, buscaram-se aportes teóricos para auxiliar na interpretação da construção do conhecimento em ligações químicas no nível médio. A teoria de Bachelard (1884-1962) parece fornecer uma ferramenta com esse potencial: o perfil epistemológico.

Bachelard (2009) considera que um conceito científico pode ser interpretado sob vários pontos de vista. O perfil epistemológico contempla as diversas concepções de um mesmo conceito, que coexistem e se manifestam em diferentes intensidades. Ao elaborar um perfil sobre as ligações químicas, colocam-se as concepções cotidianas e os conceitos da física clássica e quântica lado a lado, podendo comparar as ideias de cada zona filosófica. Nesta perspectiva, para Bachelard (2009) o conhecimento progride filosoficamente do realismo para o empirismo, desse para o racionalismo. O progresso científico deriva de uma evolução conceitual complexa, ou seja, de uma hierarquia conceitual.

A intenção neste trabalho com o perfil epistemológico é utilizá-lo como uma ferramenta para acompanhar a construção do conhecimento referente às ligações químicas, pelos estudantes do ensino médio. Isso se justifica pelo fato de as ligações



químicas poderem ser interpretadas por diferentes modelos e teorias, sendo que a discussão deverá surgir em torno do modelo mais apropriado para a interpretação de dado fenômeno. Uma condição que se estabelece para o perfil epistemológico é que os diversos sentidos, significados e concepções convivem juntos, o que se busca, a todo o momento, é a evolução do pensamento químico.

Com base no exposto, nota-se que o ensino e a aprendizagem das ligações químicas não são tarefas triviais. Esse tópico, tão essencial para a Química, exige do professor um cuidado durante o seu desenvolvimento, principalmente no que se refere à abordagem das teorias, leis e modelos, precavendo a distorção de conceitos. No tocante aos alunos, a aprendizagem das ligações químicas exige capacidade de abstração, bem como transição entre os níveis de representação da matéria, para que consigam pensar os fenômenos macroscópicos em nível atômico-molecular e representá-los por meio da linguagem química.

Neste contexto, a presente pesquisa surgiu do seguinte problema:

**Como ocorre a construção do conhecimento no nível médio de tópicos relacionados às ligações químicas, tais como estabilidade química e natureza das interações entre átomos e íons, em contextos metodológicos diferentes?**

Na tentativa de encontrar respostas para essa questão, as seguintes hipóteses foram levantadas:

i) A metodologia de ensino influencia significativamente na construção do conhecimento em ligações químicas pelos estudantes do ensino médio.

ii) Abordagens diferenciadas, fundamentadas em situações problemas e atividades de modelagem, contribuirão de forma significativa na aprendizagem das ligações químicas.

iii) Existe uma relação entre a capacidade de transição entre níveis de representação da matéria e a zona do perfil epistemológico em que se encontram os conceitos de ligações químicas.

A partir dessas considerações, os objetivos gerais desta pesquisa são:

- Realizar um diagnóstico de como o conteúdo de ligações químicas está sendo desenvolvido no ensino médio;

- Investigar o processo de construção do conhecimento químico referente às ligações químicas, pelos estudantes da 1ª série do ensino médio, por meio de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem e do ensino tradicional em escolas públicas da cidade de Santa Maria, RS.

E os objetivos específicos são:

- Analisar a abordagem do conteúdo de ligações químicas nos livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático - PNLD (2015-2017);
- Realizar um levantamento das ideias de estudantes do ensino médio após o estudo formal do conteúdo de ligações químicas;
- Verificar os conceitos abordados e a maneira como é desenvolvido o conteúdo de ligações químicas pelos professores do ensino médio;
- Conhecer as expectativas de professores universitários em relação ao conhecimento dos calouros sobre ligações químicas;
- Elaborar juntamente com professores da educação básica uma Sequência de Ensino e Aprendizagem fundamentada em situações problemas, bem como em atividades experimentais e de modelagem;
- Acompanhar o desenvolvimento do conteúdo de ligações químicas no ensino médio por meio da Sequência de Ensino e Aprendizagem e do ensino tradicional;
- Traçar o perfil epistemológico de ligações químicas para cada estudante, a fim de acompanhar sua evolução conceitual;
- Identificar os modelos utilizados pelos estudantes na interpretação de problemas à luz da teoria das ligações químicas, relacionados com os níveis de representação da matéria.

A fim de sistematizar a apresentação desta pesquisa, a presente tese foi estruturada em quatro capítulos e duas unidades, descritos a seguir.

No capítulo 1, “**Tópicos relevantes para o ensino de ligações químicas**”, é apresentada uma revisão bibliográfica de pesquisas com foco nos estudantes, livros didáticos e professores. É exposta uma visão geral sobre as pesquisas que abordam o ensino e aprendizagem das ligações químicas. Muitos dos trabalhos elencados servirão de suporte teórico para a análise dos dados.

O capítulo 2 **“Resgate histórico da construção do conhecimento em ligações químicas e a noção do perfil epistemológico”** refere-se à fundamentação teórica. Neste capítulo são expostos alguns fatos marcantes do desenvolvimento histórico do conteúdo de ligações químicas. Além disso, são apresentados os modelos curriculares sugeridos para o ensino médio, bem como a noção do perfil epistemológico segundo a teoria de Bachelard (2009). Esses pressupostos teóricos orientaram a análise dos dados da segunda parte da pesquisa.

No capítulo 3, **“Desenvolvimento da pesquisa”**, é feita uma caracterização da investigação. É apresentado o desenho da pesquisa, que expõe as partes que compõem o estudo, bem como as fontes, os instrumentos e os métodos de análise dos dados. Este capítulo é constituído de duas unidades.

A unidade I, **“Ligações químicas no ensino médio”**, se refere às investigações feitas na primeira parte da pesquisa, que tem por objetivo detectar como o tópico está sendo abordado no nível médio. Esta unidade é composta por três investigações.

A unidade II, **“A construção do conhecimento em ligações químicas no ensino médio”**, corresponde à segunda parte da pesquisa e tem por objetivo investigar a construção do conhecimento em tópicos relacionados ao conteúdo de ligações químicas pelos estudantes da 1ª série do ensino médio. Nesta unidade é descrita a Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA), bem como apresentado o alicerce teórico que fundamentou sua elaboração e aplicação. A análise dos dados foi fundamentada na teoria de Bachelard e ao final foi traçado um perfil epistemológico para cada estudante.

No capítulo 4, são apresentadas as **“Considerações finais”** sobre o estudo desenvolvido e algumas conclusões feitas a partir dos resultados obtidos.

Finalmente, encerra-se esta tese com a apresentação das **“Referências”** e dos materiais complementares que estão dispostos nos **“Apêndices”** e **“Anexo”**.



## CAPÍTULO 1

### TÓPICOS RELEVANTES PARA O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, realizada a partir da seleção de alguns estudos encontrados na literatura da área, sobre a construção do conhecimento em ligações químicas, que envolvem os estudantes (sujeitos do processo), os professores (práticas e modelos de ensino), bem como os livros didáticos (principal fonte bibliográfica utilizada nas escolas). Alguns dos trabalhos selecionados servirão de suporte teórico para a análise dos dados da primeira parte da pesquisa, organizados na unidade I do capítulo 3 da presente tese.

No próximo item é apresentado um panorama das pesquisas que abordam o ensino e a aprendizagem das ligações químicas. Os itens seguintes contemplam investigações com foco nos estudantes, livros didáticos e professores.

#### 1.1 VISÃO GERAL SOBRE O ENSINO E A APRENDIZAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS

As ligações químicas têm sido foco de inúmeras pesquisas na área de ensino de Química. É compreensível que este assunto desperte a curiosidade entre os pesquisadores, visto sua importância e complexidade.

As investigações disponíveis na literatura apresentam diferentes enfoques. Alguns trabalhos buscam resgatar a história das ligações químicas e demonstrar o caráter transitório das ideias científicas, como, por exemplo, os de Bezerra e Silva (2001) e Chamizo e Gutiérrez (2004). Outros se propõem a fazer uma revisão de aspectos, conceitos e teorias importantes sobre o tema (TOMA, 1997; DUARTE, 2001; SANTOS FILHO; SALES, 2009). Há ainda as investigações que surgem diretamente dos problemas relacionados ao processo de construção do conhecimento do tópico. Nas investigações desta última perspectiva, que serão enfocadas as discussões neste capítulo.

Neste contexto, o trabalho desenvolvido por Fernandes e Campos (2012) fornece uma visão geral das investigações desenvolvidas na área de ensino de

Química com o mesmo enfoque da presente tese. O referido trabalho apresenta um panorama das pesquisas nacionais e internacionais que abordam o ensino e a aprendizagem das ligações químicas, retratando o cenário atual em que a área se encontra.

Para a coleta de dados, foi realizada uma busca nos principais periódicos brasileiros da área de ensino de Ciências, bem como em revistas internacionais de alto impacto em todo mundo. Os artigos encontrados foram analisados nas seguintes categorias: *base teórica*; *metodologia/sujeitos da pesquisa*; *conteúdo abordado*; e *resultados obtidos/conclusões*.

Em relação ao número de artigos encontrados que abordam o ensino e a aprendizagem das ligações químicas, houve um predomínio dos internacionais, que somaram 37 ao total, contra apenas seis trabalhos científicos nacionais. Esse dado da pesquisa de Fernandes e Campos (2012), nos fez refletir a respeito da necessidade de desenvolver mais pesquisas brasileiras sobre esta temática. Além de reforçar a importância da presente investigação.

A análise da primeira categoria, *base teórica*, revelou que a maioria dos artigos (55,8%) adota o referencial construtivista de aprendizagem. Seguido pela teoria dos modelos mentais (16,3%) e as teorias sobre analogias (11,6%).

Os resultados referentes à segunda categoria *metodologia/sujeitos da pesquisa* mostram que em termos de coleta de dados, o questionário e a entrevista são as técnicas mais utilizadas (25,6% para cada, mais 20,9% dos trabalhos utilizam as duas técnicas conjuntas). A análise de livros didáticos aparece com 9,3%, assim como as revisões de literatura sobre as concepções alternativas.

Aproximadamente metade das pesquisas (46,5%) utilizam metodologias de análise integradora (qualitativa e quantitativa) e 53,5% são de caráter puramente qualitativo, desta forma, observa-se um predomínio deste tipo de abordagem. Sobre os sujeitos, a maior parte das pesquisas utiliza como amostra alunos do ensino médio, pois 35,5% investigam apenas o processo de ensino e aprendizagem neste nível, 2,3% no ensino médio e superior e 20,9% no ensino médio, superior e pós-graduação. As pesquisas que investigam apenas o ensino superior e fundamental correspondem, respectivamente, a 13,9% e 2,3%.

A terceira categoria, *conteúdo abordado*, mostra que um grande número de artigos (39,5%) se preocupa em identificar as concepções alternativas dos estudantes. 14% abordam os modelos mentais, 11,6% os aspectos didáticos e curriculares das ligações químicas, 11,6% o ensino por analogias, 9,3% a análise em livros didáticos, 7% o computador como instrumento didático e apenas 4,7% novas metodologias de ensino. Esse último dado ilustra que poucas pesquisas se propõem a desenvolver propostas didáticas para a abordagem das ligações químicas, o que reflete na falta de alternativas disponíveis na literatura para o professor. Com o propósito de contribuir nesta perspectiva, neste trabalho foi elaborada, em parceria com os professores da educação básica, uma sequência de ensino e aprendizagem para o desenvolvimento do tópico na primeira série do ensino médio, que será apresentada na unidade II do capítulo 3.

Na última categoria, *resultados e conclusões dos artigos*, Fernandes e Campos (2012) apresentam uma síntese das contribuições das pesquisas investigadas para a área de ensino de Química, da qual se destacam alguns trechos:

[...] as concepções alternativas dos alunos constituem um obstáculo significativo na aprendizagem do tema ligação química [...]. Em relação aos modelos mentais, as pesquisas identificaram que os modelos utilizados pelos professores precisam estar adequados ao nível dos alunos e que os alunos preferem os modelos mais simples.

[...] a analogia deve favorecer a aprendizagem e que o uso de analogias inadequadas contribui para o surgimento de concepções alternativas. A análise dos livros didáticos mostrou que esse recurso precisa ser reformulado em relação ao tema ligação química.

[...] sugerem uma mudança no currículo e na forma como o tema ligação química é ensinado atualmente. Os estudos que utilizaram o computador como instrumento didático obtiveram êxito nas investigações [...].

As investigações que adotaram novas metodologias (Aprendizagem Cooperativa Jigsaw e Unidades Didáticas) tiveram bons resultados e as recomendam para o ensino de ligação química (FERNANDES; CAMPOS, 2012, p. 161).

As pesquisas analisadas retratam o cenário atual do processo de ensino e aprendizagem das ligações químicas, evidenciando que as discussões sobre o tema estão longe de serem esgotadas. Pelo exposto, fica evidente que o tópico necessita de novas contribuições para que se possa avançar na qualidade do ensino de Química.

## 1.2 OS ESTUDANTES COMO FOCO DE PESQUISA

Há muitas pesquisas que buscam conhecer as concepções dos estudantes sobre as ligações químicas. Dentro deste contexto, Fernandez e Marcondes (2006) realizaram uma revisão na literatura, com o intuito de alertar os professores de todos os níveis de ensino, sobre quais são as ideias mais comuns que surgem na abordagem desse tópico.

As principais concepções detectadas pelas autoras foram: confusão entre ligação iônica e covalente; os compostos iônicos são vistos como entidades discretas, sem retículos cristalinos; as ligações covalentes são fracas; os elétrons são compartilhados igualmente em qualquer ligação covalente; confusão entre ligação covalente e forças inter e intramoleculares; as ligações seriam formadas apenas para satisfazer a regra do octeto; as ligações são rompidas durante uma mudança de estado físico; não há movimento dos elétrons numa ligação; os elétrons de uma ligação pi se movimentam realizando uma figura de um oito ao redor do núcleo; entre outras. As autoras também alertam para a importância do conhecimento prévio pelo professor, das principais dificuldades dos estudantes nesse tópico, pois facilita a proposição de metodologias específicas para tentar superá-las.

Tan e Treagust (1999) avaliaram o entendimento dos conceitos relacionados às ligações químicas de 119 estudantes de Singapura, com idades entre 14-15 anos, por meio da aplicação de um instrumento diagnóstico de múltipla escolha. Cada questão era composta por duas partes, sendo que na primeira a escolha deveria ser feita a partir de duas opções (por exemplo, verdadeiro/falso ou covalente/iônica), e a segunda parte questionava sobre a razão da escolha feita anteriormente, tendo o estudante quatro alternativas para optar (por exemplo, a alternativa de letra a dizia “o átomo de sódio compartilha um par de elétrons com o átomo de cloro para formar uma molécula simples”, tradução nossa, p. 82).

Dentre as discussões realizadas, ressalta-se a confusão dos estudantes entre a ligação covalente e iônica, pois apenas 16,7% deles marcaram a opção que afirma que o cloreto de sódio forma um retículo cristalino. Neste contexto, os autores enfatizam problemas durante a explicação dos professores em sala de aula, que representam a



ligação iônica como sendo a ligação de um único átomo de sódio com um átomo de cloro, deixando para mais tarde a abordagem do retículo cristalino (TAN; TREAGUST, 1999). Este é um ponto interessante de ser ressaltado, pois pode levar muitos estudantes a pensar, por exemplo, que na estrutura do cloreto de sódio ocorre uma única ligação iônica, além de potencializar a confusão entre a formação de retículo cristalino e de molécula.

O estudo de De Posada (1999) apresenta as concepções de estudantes espanhóis (15-18 anos), de diferentes níveis de ensino do país, antes, durante e depois do ensino formal de ligação química. O instrumento investigativo foi aplicado a 309 estudantes, sendo que parte deles não havia estudado formalmente o conteúdo e o restante possuía diferentes níveis de conhecimento sobre o assunto, pois estavam em séries distintas. Os aspectos considerados nesta investigação foram: continuidade/descontinuidade da matéria, substâncias moleculares, substâncias iônicas e interpretação de fórmulas químicas.

Os resultados mostram que a ideia de continuidade da matéria nos gases diminui com o aumento do nível de escolaridade. Aproximadamente 20% dos participantes da pesquisa com menor grau de instrução desenharam os átomos que compõem o gás oxigênio unidos uns aos outros, sem deixar espaços entre eles, apresentando uma visão contínua da matéria. Para os níveis mais avançados, este tipo de representação caiu drasticamente.

Quase metade dos estudantes que estavam tendo as primeiras noções em Química representaram os átomos, em fase gasosa, por círculos localizados a certa distância uns dos outros. Inclusive alguns desenharam setas em todas as direções para indicar um movimento desordenado das partículas. Dentre os estudantes que possuíam mais instrução, este número subiu para praticamente 80% dos que estavam em uma série de nível intermediário e 93% dos que estavam mais adiantados.

Considerando que a noção de ligação química depende do entendimento de vários conceitos, como o de átomo, estes dados obtidos pelo estudo de De Posada (1999) demonstram que o ensino formal conseguiu avanços no que se refere à ideia de descontinuidade da matéria. Outro ponto relevante desta parte do estudo, é que elucida a importância da noção da descontinuidade da matéria para o

estabelecimento de relações entre os seus níveis de representação, ou seja, macroscópico, submicroscópico e o simbólico.

Sobre o segundo aspecto investigado, substâncias moleculares, o autor ressalta que apesar de compreenderem que certas substâncias gasosas são moleculares, a natureza da ligação covalente é um problema para a maioria dos estudantes que já estudaram este tema em aula. Os que ainda não haviam começado o estudo formal das ligações químicas acreditavam que existiam forças atrativas eletrostáticas, ou de outra natureza não mencionada, entre os átomos da ligação. Para os estudantes mais avançados, a união ocorria devido à ligação covalente, sem apresentarem maiores detalhes sobre sua natureza.

O autor levanta duas possíveis explicações para este problema, que estão relacionadas à forma como os livros textos e os professores abordam o tópico. A primeira está associada à introdução das estruturas de Lewis, que apesar de sua importância didática para o estudo das ligações covalentes, podem estar passando a ideia de que o compartilhamento de elétrons é o fator que justifica a atração entre os átomos. A segunda explicação se refere ao momento em que se apresenta a força eletrostática, no qual é ressaltado que esta é responsável pela união dos íons na ligação iônica. E para o compartilhamento de elétrons na ligação covalente, provavelmente se passa para os alunos a ideia que esta última se trata de uma nova força (DE POSADA, 1999).

Na análise referente às substâncias iônicas, o autor percebeu que a relação entre os átomos com os seus íons não é evidente para os estudantes, bem como as propriedades que estes provocam no mundo macroscópico. A ideia de íon não é facilmente assimilada, pois nenhum dos alunos com menor grau de instrução utilizou esta noção em suas explicações. Somente 27% e 37% dos estudantes dos níveis intermediário e mais avançado fizeram menção aos íons. O autor afirma que existem razões psicológicas, epistemológicas e didáticas que podem explicar este fenômeno.

As psicológicas se referem à necessidade do que o autor chama de diferenciação progressiva de Novak e Gowin (1984 apud DE POSADA, 1999, p. 240). Nesta abordagem, é utilizada a ideia de que o conceito de íon poderia confundir-se

com o de átomo, com quem tem certa semelhança a julgar pela utilização indiferenciada de muitos alunos.

As razões epistemológicas explicam que para vários estudantes, átomos e íons não possuem muitas diferenças de comportamento, sendo que se poderia renunciar do uso da terminologia íon. Alguns alunos creem conseguir explicar a estrutura interna das substâncias iônicas pela alternância de seus átomos constituintes, ou ainda, a dissolução destas substâncias em água pela separação de átomos e moléculas. O conceito de íon não é aplicável para os alunos, já que não apresenta a capacidade de resolver novos problemas, pois os mesmos não possuem insatisfações com suas concepções de átomos e moléculas.

Sobre as razões didáticas, o autor alerta que são poucos os livros texto de Química que fornecem provas da existência dos íons e os diferenciam dos átomos. A maioria, simplesmente, postula sua existência. Deste modo, a compreensão da estrutura da matéria se torna difícil ou até mesmo incompreensível para muitos estudantes (DE POSADA, 1999). Uma consequência da não compreensão do conceito de íon, para as ligações químicas, é que a estrutura molecular é muito mais utilizada do que a de rede cristalina, mesmo para a representação dos compostos iônicos.

De Posada (1999) ainda investigou até que ponto os estudantes utilizam as noções da teoria de ligações químicas para interpretar a estrutura interna das substâncias. 70% dos estudantes que ainda não haviam estudado o tópico não representaram as dez partículas das substâncias solicitadas pelo instrumento. Os que fizeram esta questão apresentaram o cloreto de potássio, nitrogênio e cloreto de hidrogênio na forma molecular e o cálcio na forma atômica. Nenhum aluno deste nível utilizou a noção de estrutura cristalina.

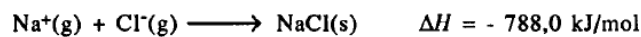
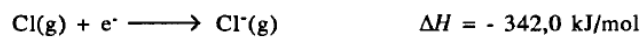
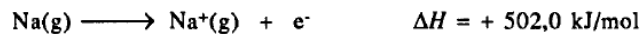
Para os estudantes que haviam tido o conhecimento formal sobre o assunto, 11% do nível intermediário e 30% do nível mais avançado não representaram as partículas das substâncias, estes últimos justificaram que fazia muito tempo que tinham visto esta matéria e não se recordavam. Em relação ao nitrogênio e ao cloreto de hidrogênio, o percentual de representações corretas foi maior que 60% para ambos os casos nos dois níveis. Para o cloreto de sódio e cálcio metálico, pouco mais da metade dos estudantes do nível intermediário e 39% deles representaram estas

estruturas na forma de rede. Quando comparados com o nível mais adiantado, estes valores decrescem para 37% para as duas substâncias. Por fim, o autor constata que os conceitos de rede e íons são pouco utilizados pelos estudantes e que existe uma grande persistência de aplicar a noção de molécula a substâncias cristalinas (DE POSADA, 1999).

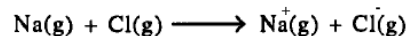
Tendo como foco a regra do octeto, Mortimer, Mol e Duarte (1994, p. 243) afirmam que essa se transformou “num ritual, um verdadeiro dogma a explicar a estabilidade dos compostos químicos, substituindo princípios mais gerais como as variações de energia envolvidas na formação da ligação entre os átomos”. Os autores fazem esta constatação a partir da análise das respostas de uma questão da 2ª fase do vestibular da Universidade Federal de Minas Gerais, em que os candidatos deveriam responder a três itens para acertarem totalmente a questão (Figura 1).

Figura 1 - Questão analisada

As variações de entalpia envolvidas nas etapas de formação de NaCl(s) a partir dos átomos gasosos são:



1. CALCULE a variação de entalpia da reação



2. CALCULE a variação de entalpia do processo global de formação de NaCl(s) a partir dos átomos gasosos.

3. Considere a afirmativa:

“O que estabiliza o cloreto de sódio é a formação de octetos de elétrons de valência nos íons cloreto e sódio.”

A partir dos resultados obtidos nos itens 1 e 2, INDIQUE se a afirmativa é verdadeira ou falsa e JUSTIFIQUE a resposta.

Fonte: (MORTIMER; MOL; DUARTE, 1994, p.244).

Nos dois primeiros itens, os estudantes deveriam realizar alguns cálculos sobre a energia das etapas reacionais e da reação global de formação do cloreto de sódio sólido a partir dos átomos gasosos de cloro e sódio, o que apenas envolvia a aplicação da lei de Hess. No terceiro item, os candidatos deveriam avaliar a afirmação “O que estabiliza o cloreto de sódio é a formação de octetos de elétrons de

valência nos íons cloreto e sódio”, como verdadeira ou falsa, e justificar a partir dos dados obtidos nos itens anteriores.

A amostra analisada consistiu de 25% do total de provas da segunda etapa do referido vestibular, o que resultou em 779 respostas. Os autores constataram que os estudantes, em sua maioria (81,6%), sabiam calcular as variações de entalpias nos itens 1 e/ou 2, sendo que esses resultados demonstravam que não era a regra do octeto que estabilizava a formação do  $\text{NaCl(s)}$ .

Apesar disso, apenas 7,8% dos estudantes consideraram como falsa a afirmativa do item 3 e utilizaram justificativas diferentes da regra do octeto. Para a análise dos dados, os autores se basearam na ideia de “conflito cognitivo” de Piaget e concluíram que os estudantes enfrentam dificuldades para mudar suas concepções, pois mesmo frente a novas informações (itens 1 e 2) que são consideradas perturbadoras da teoria do octeto, a maioria as ignora e segue com sua ideia inicial. Os autores concluem que há uma tendência generalizada no ensino de Química em atribuir a estabilidade dos compostos químicos à formação do octeto eletrônico.

A estabilidade química também foi foco da pesquisa de Taber (2000), na qual participaram 38 estagiários de Ciências. No instrumento utilizado para a coleta de dados, estavam representadas três espécies químicas:  $\text{Na}^+$  (cátion monovalente de sódio),  $\text{Na}$  (átomo de sódio) e  $\text{Na}^{-7}$  (ânion heptavalente de sódio), além de alternativas que comparavam suas estabilidades. O propósito foi detectar quais os critérios que os estagiários utilizavam para justificar sua escolha.

Quando comparada a estabilidade do cátion e do átomo, 69% dos sujeitos da pesquisa acreditaram que o  $\text{Na}^+$  é mais estável que o  $\text{Na}$ , 26% pensaram o contrário e 5% que são igualmente estáveis. Os motivos das escolhas foram variados, alguns estudantes que acreditaram que o cátion é mais estável justificaram pelo fato de o  $\text{Na}^+$  ocorrer naturalmente, que o “metal de  $\text{Na}$  é mais reativo” ou que o “íon  $\text{Na}^+$  existe em solução” (p.19, tradução nossa). Outros pensaram em termos da energia de ionização e sugeriram que o cátion era mais estável devido à energia requerida pelo átomo para remover um elétron. Entretanto, 22 dos 38 estagiários fizeram referência à camada completa do íon, ou seja, a regra do octeto.

Durante a comparação do átomo com o ânion, 39% dos estagiários acreditaram que o  $\text{Na}^{-7}$  é mais estável. As justificativas se referiram ao átomo possuir um elétron na última camada, o que o faria estar disponível para se ligar a outros átomos, ou pela camada completa do ânion, que lhe daria estabilidade.

Um caso interessante foi a comparação entre os íons, ou seja, entre o  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{Na}^{-7}$ . 66% marcaram a opção que trazia como mais estável o cátion, 13% optaram pela alternativa que afirmava o ânion como mais estável, 16% acreditaram que as duas espécies eram igualmente estáveis, enquanto que 5% não opinaram. As justificativas dos que pensaram na igualdade da estabilidade das espécies novamente fez referência à regra do octeto ou ao fato de possuírem o mesmo número de elétrons na camada de valência.

Desta forma, percebe-se que o conceito de estabilidade não é facilmente compreendido pelos estudantes. Conforme as pesquisas apresentadas, eles buscam variadas justificativas para explicar o estabelecimento das ligações entre os átomos e poucos argumentam utilizando noções energéticas.

Costa Beber e Maldaner (2010) investigaram os níveis de significação atribuídos por 31 estudantes concluintes do ensino médio ao conteúdo de ligações químicas. Em um primeiro momento, os autores buscaram nos livros didáticos (ensino superior e médio) e em periódicos da área uma explicação fundamentada para este conteúdo. Após aplicaram um questionário para os estudantes, do qual obtiveram os dados que foram analisados sob duas perspectivas: natureza da ligação e base teórica das ligações químicas.

Na primeira perspectiva, os autores perceberam uma confusão entre as ligações interatômicas e intermoleculares. Além disso, alguns estudantes explicaram que o cloreto de sódio conduz eletricidade em meio aquoso, mas não souberam identificar o tipo de ligação química deste composto. Os autores também inferem que os livros didáticos influenciam o tipo de ensino e de ênfase dados os conteúdos desenvolvidos nas aulas de Química, pois nenhum estudante mencionou a ligação metálica durante a identificação dos tipos de ligações. Atribuem este fato a pouca ênfase dada pelos livros didáticos a esse tipo de ligação.

A segunda perspectiva, base teórica das ligações químicas, buscou identificar os níveis de significação dos estudantes para perguntas: “por que os átomos se ligam e essas ligações são específicas?” (COSTA BEBER; MALDANER, 2010, p. 108). As respostas dos estudantes foram consideradas coerentes com o ensino proporcionado, que atende exclusivamente a regra do octeto e não a um princípio, no caso, a mínima energia do processo.

Portanto, a justificativa para as ligações químicas ocorrerem é a mesma contemplada na maioria dos livros didáticos, sem mencionar a atração entre cargas de sinal oposto e atrações eletrostáticas, somente a Regra do Octeto. Isso que demonstra a forte influência do livro didático sobre as aulas do Ensino Médio. A compreensão submicroscópica dos constituintes da matéria é pouco contemplada nos livros didáticos e parece não predominar no pensamento dos estudantes, que explicam as transformações e propriedades da matéria por informações memorizadas e não pelo pensamento científico/químico (COSTA BEBER; MALDANER, 2010, p. 109).

Baseados nisso, os autores constataam que não se deve questionar a aprendizagem dos estudantes, mas a base teórica sobre ligação química que é desenvolvida no ensino médio. Isso permite entender o porquê de tantas distorções conceituais e confusões relacionadas a esse conteúdo.

Neste sentido, muitas pesquisas têm se preocupado com as concepções dos licenciandos em Química, futuros professores, sobre as ligações químicas. No estudo de Fernandes, Campos e Marcelino Júnior (2010) foram investigadas as ideias de 30 estudantes do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco.

Os autores perceberam que apenas três (10%) acadêmicos definiram satisfatoriamente os três tipos de ligações interatômicas. No tocante a classificação das substâncias quanto ao tipo de ligação predominante, esse índice subiu para 13 (43,3%). Já quando questionados sobre as propriedades das substâncias, nenhuma das respostas foi considerada satisfatória e foi observado que as propriedades macroscópicas são mais lembradas que as submicroscópicas. Além disso, muitos estudantes generalizaram suas respostas, por exemplo, “todos os compostos covalentes possuem baixos pontos de fusão” (FERNANDES; CAMPOS; MARCELINO JÚNIOR, 2010, p. 24). Também foi detectado que nenhum estudante

representou corretamente as três substâncias solicitadas, cada uma de um tipo de ligação interatômica.

Neste estudo, ainda é analisado algumas afirmativas sobre as propriedades dos compostos iônicos, moleculares e metálicos, bem como a natureza das ligações. Poucos licenciandos responderam a esta parte do questionário, sendo que desses um número muito pequeno respondeu satisfatoriamente. A partir dos resultados obtidos, os autores evidenciam a necessidade de estratégias didáticas que auxiliem na superação das dificuldades dos estudantes no entendimento das ligações químicas, bem como dos três níveis do conhecimento químico, que chamam de fenomenológico, teórico e representacional, durante a abordagem deste tópico.

O trabalho de Lima e Núñez (2012) objetivou analisar o modelo teórico de ligação química, utilizado por 55 estudantes do curso de licenciatura em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, para explicar a solubilidade de um composto químico. A investigação foi realizada durante três anos e buscou levantar as ideias e os modelos dos licenciandos para a insolubilidade do cloreto de prata em água, comparando com o cloreto de sódio.

Por meio dos dados obtidos, os autores observaram que alguns licenciandos sinalizaram elementos importantes para a explicação da insolubilidade do cloreto de prata, como: o efeito da polarização dos íons, a energia de solvatação, retículo cristalino e tamanho dos íons. Contudo, esses elementos apareceram de maneira isolada, não permitindo, dessa forma, que as explicações para tal comportamento fossem bem estruturadas. A análise dos resultados revelou que o modelo para as ligações iônicas não foi utilizado adequadamente para explicar a insolubilidade do composto em questão. Os autores finalizam o artigo enfatizando a importância de uma abordagem mais consistente do conteúdo por parte dos formadores, durante o curso de graduação, propiciando, assim, elementos essenciais para a atuação do futuro professor.

A pesquisa de Ferreira, Campos e Fernandes (2013) tem como enfoque as concepções alternativas de licenciandos em Química sobre ligação metálica. Algumas concepções encontradas foram: não existe de fato ligação entre os átomos de um composto metálico, não correlacionam a propriedade da condução elétrica com a

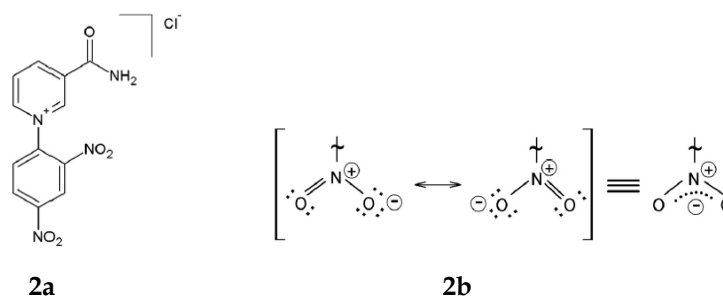


movimentação de elétrons, atribuem a condução elétrica apenas a compostos iônicos e acreditam que a ligação metálica é um tipo de ligação iônica ou a própria ligação iônica. Segundo os autores, as concepções dos licenciandos são similares às encontradas em pesquisas internacionais em diferentes níveis de ensino.

Outra pesquisa que investigou o conhecimento de ligações químicas no nível superior é a de Rodrigues, Silva e Quadros (2011). O referido estudo foi desenvolvido com 25 estudantes do curso de Farmácia e 13 do curso de Química da Universidade Federal de Minas Gerais. Além disso, foi feita uma análise em livros didáticos utilizados nas disciplinas de Química Geral e Química Orgânica I.

A estrutura química (Figura 2a) deveria ser analisada pelos estudantes, que foram indagados em relação à ligação química e representação de Lewis. Os estudantes tiveram um bom desempenho na identificação da ligação covalente (92%), apenas quatro não utilizaram essa classificação e preferiram as denominações “simples e duplas”. A ligação iônica não foi identificada por pouco mais de 20% dos acadêmicos. Os autores acreditam que muitos pensam que este tipo de ligação não ocorre na Química Orgânica e que os estudantes não estão acostumados a reconhecê-la entre íons poliatômicos e em moléculas complexas.

Figura 2 - Estrutura química da questão (2a) e estrutura esperada para a representação de Lewis (2b)



Fonte: (RODRIGUES; SILVA; QUADROS, 2011, p. 1841 e 1843).

Outro item analisado foi a estrutura de Lewis, em que estudantes foram solicitados a desenhar os grupos nitros presentes no composto 2a, sendo esperadas representações semelhantes as da Figura 2b. As respostas foram classificadas em: estrutura totalmente correta (39,5%); estrutura correta com compartilhamento de

elétrons correto, mas sem carga (10,5%); estrutura incorreta (50%). Os autores buscaram na literatura da área de ensino, embasamento para as possíveis dificuldades dos acadêmicos nas representações de Lewis, dentre os achados estão: os estudantes deixam para o final a representação das cargas e, muitas vezes, acabam por esquecê-las, além do uso exagerado da regra do octeto.

Sobre a análise dos livros textos utilizados no ensino superior, os autores ressaltam que “os livros didáticos talvez estejam contribuindo para que os estudantes formem concepções alternativas referentes aos conceitos de ligação e interações” (RODRIGUES; SILVA; QUADROS, 2011, p. 1844). A principal crítica foi em relação à ligação iônica, que segundo os autores é abordada como uma interação entre espécies que contém apenas um átomo, o que funciona para íons monoatômicos, sendo o exemplo mais utilizado o NaCl. Quando estes átomos já estão ligados covalentemente a outros, o íon resultante é poliatômico, conforme a estrutura da questão (Figura 2a). Esse tipo de exemplo não é abordado pelos livros didáticos durante o desenvolvimento da ligação iônica.

A hierarquia conceitual envolvendo as ligações químicas é um aspecto interessante a ser considerado no desenvolvimento deste tópico. Taagepera et al. (2002) apresentam um princípio organizador proveniente de um esquema hierárquico baseado na distribuição da densidade eletrônica. Os autores justificam que a partir deste conceito, os estudantes são capazes de prever a polaridade das ligações e a expectativa das forças intermoleculares, que levam a previsões das propriedades físicas dos compostos.

Neste contexto, foi desenvolvido e aplicado com estudantes de Biologia da Universidade da Califórnia, um instrumento investigativo composto por 15 questões, dispostas em uma ordem hierárquica de dificuldade utilizando a densidade eletrônica como princípio organizador. Os resultados apontam que os estudantes possuem informações desconectadas, que podem ser facilmente esquecidas.

Os autores acreditam que é necessário de mais tempo para o ensino das ligações químicas e apontam algumas “soluções” para tratar das concepções mais comuns deste tópico. Por exemplo, durante a discussão da representação de Lewis, os elétrons devem ser dispostos no meio da ligação somente quando os átomos

possuírem a mesma eletronegatividade. Por outro lado, os elétrons devem ficar mais próximos do átomo mais eletronegativo e este deve ter uma maior nuvem eletrônica.

Levando em consideração os problemas relacionados à aprendizagem das ligações químicas, outras pesquisas têm investigado alternativas para minimizá-los ou até mesmo evitá-los. Melo (2002) apresenta em sua dissertação de mestrado uma proposta diferenciada para abordagem das ligações químicas no ensino médio. Neste trabalho é abandonada a teoria do octeto, sendo considerado o seguinte pressuposto:

As transformações que os átomos sofrem, não estão relacionadas com a tendência de reunir 8 elétrons ao seu redor. Na verdade, o que orienta estas transformações é o quão favorável vai ser a situação que o sistema, como um todo, atingir, em relação à situação original, do ponto de vista energético (MELO, 2002, p. 31).

No caso, para a abordagem das ligações químicas é proposto que:

- O termo ligação iônica seja substituído por interações eletrostáticas. O estudo da tabela periódica, dados como energia de ionização e afinidade eletrônica, bem como a lei da atração de cargas opostas são utilizados para justificar este tipo de interação.
- A ligação covalente é justificada pela maior atração simultânea entre os átomos que compõem a molécula. Neste sentido, deve-se considerar que os átomos se aproximam de tal forma a produzir a maior atração simultânea possível entre os elétrons e os núcleos participantes, além da menor repulsão possível entre elétrons e entre núcleos. É abandonado o termo ligação covalente dativa.
- A ligação metálica seria explicada pela teoria do “mar de elétrons”, em que os elétrons dos átomos dos elementos metálicos, em virtude da baixa energia de ionização, estão fracamente atraídos pelos vários núcleos que compõem o composto metálico, dando origem aos cátions.

Mendonça e Justi (2009a, 2009b) propõem a abordagem das ligações iônicas através de atividades de modelagem. Baseadas no modelo eletrostático para fundamentação da teoria da ligação iônica, as autoras elaboraram um conjunto de atividades com o objetivo de abordar a formação do cloreto de sódio e propor um modelo que demonstrasse a interação entre os íons. Esta estratégia de ensino foi

aplicada com 32 estudantes de uma turma da 2ª série do ensino médio (16-18 anos) de uma escola pública federal.

Os resultados obtidos no pós-teste 1 (aplicado 4 semanas após a intervenção) mostram que as atividades de modelagem auxiliaram os participantes da pesquisa na compreensão do modelo eletrostático. 71,9% dos alunos apresentaram ideias relacionadas à formação do retículo cristalino, no qual os íons interagem através de forças eletrostáticas. Também foi verificado que 15,8% dos estudantes demonstraram ideias fundamentadas na regra do octeto e 12,3% apresentaram respostas inconcludentes.

As autoras ainda investigaram o estabelecimento de relações entre a estabilidade do cloreto de sódio e questões energéticas. Os resultados foram obtidos no pós-teste 2 (aplicado 8 semanas após a intervenção), e mostram que 78,1% dos estudantes reconheceram que o processo de formação do cloreto de sódio ocorre com a liberação de energia, enquanto que 21,9% pensaram que ocorre com absorção de energia. De acordo com as autoras, os índices satisfatórios se devem, em parte, a forma na qual as ideias químicas foram discutidas no ensino por modelagem. Elas destacam três aspectos importantes: o relacionamento envolvendo energia e estabilidade; a energia de ionização e afinidade eletrônica para a compreensão da formação de íons; e a força coulombiana como instrumento para entendimento do modelo eletrostático (MENDONÇA; JUSTI, 2009b).

Com o propósito de investigar a utilização de analogias e metáforas na construção do conhecimento sobre ligações químicas, Silva (2008) entrevistou, aplicou questionários e observou aulas de três professores de Química da rede estadual de ensino. Durante as aulas, os professores empregaram analogias e metáforas de modo espontâneo, sem um planejamento definido. Alguns exemplos utilizados para abordagem da estabilidade dos átomos foram: estabilidade financeira e espiritual, trabalho do homem para a sua sobrevivência e emprego estável. Ainda é ressaltado que a utilização das mesmas não foi acompanhada de discussões entre professor e alunos, para que de fato pudessem subsidiar o processo de ensino e aprendizagem.

O trabalho de Carvalho e Justi (2005b) estudou o papel da analogia do “mar de elétrons” na compreensão do modelo de ligação metálica. Os dados foram obtidos por meio da aplicação de um questionário a 102 alunos (14-16 anos) de uma escola particular, que haviam terminado o estudo de ligações químicas duas semanas antes. Os resultados apontam que pouco mais de 10% dos alunos associam a expressão “mar de elétrons” a elétrons em movimento entre cátions; 30% associaram-na apenas aos elétrons livres; e o restante não entendeu seu significado associando-a: a muitos elétrons, a elétrons localizados na estrutura interna do átomo, a elétrons ligados entre si, a elétrons mergulhados em um sistema, ou a outras ideias confusas.

Para 65% dos estudantes, a analogia do “mar de elétrons” auxilia no entendimento da formação dos metais, principalmente por ela evidenciar algum aspecto da ligação. Porém, para aproximadamente um terço dos alunos esta analogia não facilita a compreensão das estruturas dos metais. Os autores também pesquisaram sobre as limitações da analogia do “mar de elétrons” e perceberam que 92,5% dos alunos não as reconhecem ou, quando reconhecem, suas justificativas não são coerentes. Esses dados, de acordo com os autores, alertam para o fato de que a maioria dos alunos aceita a analogia apresentada no contexto escolar sem críticas, como uma verdade absoluta.

Na tentativa de superar as concepções alternativas relacionadas com as ligações químicas, em especial a metálica, Pariz (2011) elaborou um módulo didático, composto por quatro unidades, que foi aplicado em duas turmas da segunda série do ensino médio de uma escola pública do Distrito Federal. Utilizando a metodologia dos três momentos pedagógicos, os conteúdos: matéria e os materiais; substâncias iônicas, moleculares e metálicas; ligações iônica, covalente e metálica; metais e suas propriedades foram ministrados ao longo de 20 aulas de 45 minutos cada.

Em cada unidade, os conteúdos foram abordados mediante uso de diferentes estratégias e recursos didático-metodológicos como, por exemplo: atividades experimentais demonstrativas e investigativas; livro paradidático; livro didático; e vídeo educativo. A autora constatou que a utilização de estratégias didáticas diversificadas, principalmente as atividades experimentais investigativas, contribuiu

para a compreensão dos conceitos de ligação química, bem como para o entendimento do modelo utilizado de ligação metálica.

Trindade e Hartwig (2012) desenvolveram o minicurso “Ensino e aprendizagem significativa do conceito de ligação química” com 40 estudantes da 1ª série do ensino médio. O minicurso teve duração de 37 horas-aula e foi desenvolvido em três etapas por meio de atividades de informática (realidade virtual-3D, animações e vídeos), modelagem (modelos plásticos e bexigas) e material instrucional (apostila). Sucintamente, a primeira etapa foi destinada a familiarização dos estudantes com os mapas conceituais, bem como foi realizada uma revisão de conteúdos considerados pré-requisitos para o estudo das ligações químicas, como estrutura da matéria e tabela periódica. Durante a segunda etapa, o conteúdo de ligações químicas foi desenvolvido e os estudantes elaboraram mapas conceituais sobre os tópicos abordados. A terceira etapa constitui da aplicação de um questionário de avaliação do curso, bem como análise dos mapas conceituais, que foram comparados com mapas de referências elaborados pelos autores do trabalho.

Os dados dessa pesquisa foram obtidos por meio da produção de mapas conceituais e questionários, interpretados segundo a teoria de Ausubel. Os resultados indicaram que as estratégias diversificadas de ensino promoveram a aprendizagem dos conteúdos de ligações químicas, uma vez que os estudantes foram capazes de relacionar os conceitos básicos em seus mapas além de organizarem satisfatoriamente sua hierarquização. Os autores ressaltam que os contextos diversificados de ensino, por exemplo, as atividades de informática, foram bem aceitos pelos estudantes, o que indica a necessidade de agregar às aulas atividades diferenciadas que fujam apenas do quadro e giz.

As pesquisas discutidas neste item revelam que a construção do conhecimento referente às ligações químicas não é um processo simples e está longe do ideal. Consideramos que o caminho a ser percorrido para que se alcance um resultado satisfatório deve ser acompanhado da utilização de teorias e conceitos adequados, juntamente com modelos apropriados, que justifiquem o comportamento macroscópico das substâncias.

### 1.3 OS LIVROS DIDÁTICOS COMO FOCO DE PESQUISA

É de conhecimento geral que os livros didáticos (LD) têm papel de destaque no ensino médio. Em muitas ocasiões, eles constituem o recurso mais utilizado pelos professores para selecionar, preparar e desenvolver o conteúdo em suas aulas. No tocante aos estudantes, grande parte do tempo de estudo na escola e em casa é gasto com materiais (textos, tabelas, gravuras, diagramas, realces de anotações e exercícios) apresentados por esses livros. A seguir são destacados alguns trabalhos com foco nos LD e relacionados aos tópicos de interesse desta investigação.

O protagonismo dos íons no estudo da Química deve ser enfatizado em sala de aula pelo professor e abordado pelos autores dos LD. No contexto das ligações químicas torna-se importante a compreensão do conceito de íon, sua formação e natureza elétrica. Tendo como foco as transformações químicas em solução aquosa, Cássio et al. (2012) realizaram uma pesquisa analisando o papel atribuído aos íons em LD de Química voltados para o ensino médio e superior.

De maneira geral, os LD do ensino médio subestimam a presença dos íons nas transformações químicas, simplificando sua esquematização. Por sua vez, os livros do ensino superior trazem abordagens mais coerentes e conferem a estas espécies químicas seu devido papel. Apesar de reconhecerem que simplificações são necessárias no nível médio, os pesquisadores acreditam que não deve ocorrer a ocultação do protagonismo dos íons nos processos químicos em fase aquosa (CÁSSIO et al., 2012).

Sob nosso ponto de vista, este tipo de abordagem, que não representa as espécies envolvidas, em vez de facilitar o entendimento, acaba dificultando-o, pois impede o raciocínio com base no nível submicroscópico. Além disso, esta ocultação pode dificultar a aprendizagem de outros conteúdos, como as ligações químicas, visto que o entendimento da ligação iônica, por exemplo, depende diretamente deste conceito.

A partir dos seguintes questionamentos: *Existem relações entre as concepções alternativas dos estudantes de ensino médio sobre as ligações químicas e a forma de apresentação deste conteúdo no ensino fundamental? Quais? Como estabelecê-las?*, Milaré

(2007) discute possíveis correspondências entre as concepções dos estudantes do nível médio e a forma de abordagem das ligações químicas em livros de Ciências. Para estabelecer esta associação, a autora levanta a hipótese de que os alunos, geralmente, têm contato pela primeira vez com este conteúdo na disciplina de Ciências, no último ano do ensino fundamental.

As análises são feitas com base em categorias pré-estabelecidas, elaboradas a partir das concepções alternativas encontradas na literatura. Em relação à categoria “regra do octeto”, Milaré (2007) verificou explicações nos LD compatíveis com a concepção alternativa de que a regra do octeto é responsável pela ocorrência das ligações químicas. Neste contexto, a estabilidade dos átomos é atribuída, nos livros analisados, à configuração semelhante a dos gases nobres, ou seja, oito elétrons na camada de valência.

A visão antropomórfica, segunda categoria, foi encontrada na metade dos LD analisados. A autora destaca frases em que termos como “*imitar*” ou “*buscam*” são atribuídos a espécies químicas, por exemplo, átomos e elementos. Estes recursos antropomórficos estabelecem uma ponte entre os conhecimentos científicos e os prévios, facilitando a operacionalização dos conceitos sem o seu entendimento. No entanto, não estimulam o raciocínio e a formação do pensamento científico é prejudicada (MILARÉ, 2007).

Na análise da categoria “Confusões entre ligação iônica e ligação covalente”, foram detectadas várias abordagens nos LD com possíveis potenciais para geração de concepções alternativas. Algumas delas são referentes à ideia de que a ligação iônica só ocorre entre um par de átomos, o que doa e o que recebe elétrons, bem como à ausência de explicações mais profundas sobre a formação do retículo cristalino, visto que em nenhum livro fica claro ao leitor o que une os íons envolvidos.

Dentre as categorias levantadas a priori neste trabalho, a autora não detectou nos LD, explicações para as concepções alternativas dos estudantes referentes à geometria molecular e energia envolvida nas ligações. Sobre a primeira, conclui que o tópico não é comumente desenvolvido no ensino fundamental. Em relação à segunda, aspectos energéticos não foram considerados nas explicações sobre a formação das ligações químicas nos LD.



Assim, os resultados apontam que uma parte significativa das concepções alternativas encontradas na literatura está presente nos LD de Ciências. Por fim, respaldada nos documentos oficiais, a autora alerta para a abordagem dada às ligações químicas no ensino fundamental, visto que o detalhamento do nível atômico e molecular faz pouco sentido neste nível de escolaridade. Alerta para o fato de que esse tipo de abordagem pode reforçar a aprendizagem de conceitos equivocados e despertar o desinteresse pela Química no ensino médio. Desta forma, é necessário evitar que as concepções alternativas dos estudantes sejam reforçadas pelo próprio processo de ensino ou pelo material didático, como é o caso das ligações químicas (MILARÉ, 2007).

Os modelos desempenham papel central na Ciência, bem como na educação científica. Bergqvist et al. (2013) centraram seu estudo na análise dos modelos de ligação química empregados em LD suecos utilizados no nível secundário.

A análise dos dados ocorreu por meio de onze categorias e os resultados mostram que os modelos de ligações químicas utilizados nos livros escolares podem gerar concepções alternativas e, muitas vezes, dificultam a compreensão. Fundamentados na teoria da área e nos resultados obtidos, os autores sugerem algumas alterações gerais para a abordagem das ligações químicas nos LD, dentre as quais destacamos:

- a fim de evitar a utilização do termo 'molécula' para todas as estruturas químicas e a regra do octeto como fundamento teórico, sugerem que a ordem de apresentação dos tipos de ligações nos LD seja modificada. A sequência proposta é: ligação metálica, seguida pela ligação iônica, e a ligação covalente por último. Argumentam que é no contexto da ligação covalente que começa a abordagem discreta das moléculas e a utilização do octeto;
- para obter uma sequência lógica, que favoreça a relação entre estrutura em rede e moléculas discretas, sugerem a apresentação dos sólidos covalentes após estas últimas;
- apesar de as substâncias apresentarem propriedades distintas, que podem ser explicadas pelos diferentes tipos de ligações químicas, os autores pensam que é importante salientar o que é comum para todas, ou seja, a força que mantém as

partículas unidas. Então, sugerem a utilização do modelo baseado nas interações eletrostáticas, visto que esse apresenta um nível ideal de simplificação, que não compromete um possível aprofundamento para modelos mais sofisticados no ensino superior;

- especificamente para ligação iônica, recomendam evitar a introdução do tópico em termos da transferência de elétrons. Os autores aconselham que os LD utilizem abordagens típicas, tais como: a formação dos compostos iônicos a partir dos elementos envolvidos (que contempla a etapa de formação dos íons, em que os elétrons são transferidos) ou a formação dos compostos iônicos por meio de reações de precipitação. Além disso, advertem para a ênfase que deve ser dada às representações visuais da rede iônica, ilustrando as forças eletrostáticas, que ocorrem entre os íons em mais de uma direção;

- em relação às mudanças específicas para ligação covalente, sugerem que os LD sejam mais claros a respeito da polaridade das ligações e apresentem exemplos típicos, bem como características de cada tipo. Ressaltam que devem ser evitadas abordagens que passem a ideia de dicotomia entre as ligações iônica e covalente, pois pode levar os alunos a pensar nas ligações covalentes polares apenas como consequência da ligação covalente, em vez de algo entre as ligações iônicas e covalentes. Os autores sugerem que o modelo de ensino caracterizado como 'partilha de elétrons entre dois átomos' seja substituído pelo modelo de 'forças eletrostáticas entre os núcleos e elétrons de ambos os átomos';

- sobre a ligação metálica, os LD devem ser mais claros e explícitos quando explicam as propriedades físicas dos metais e a estabilidade da estrutura metálica. Os autores sugerem que os livros textos evitem a mistura dos termos "átomos" e "íons" durante a abordagem dessa ligação. Assim, o estabelecimento de forças eletrostáticas entre a nuvem de elétrons e os íons metálicos positivos fica mais evidente;

No final do artigo, os autores sugerem que os LD expliquem a natureza e / ou a finalidade dos modelos utilizados. Consideram importante que os alunos conheçam e reconheçam as funções e limitações de cada modelo, bem como o fato de um conceito poder ser explicado por vários modelos. Por fim, alertam para a necessidade dos LD serem avaliados de forma crítica pelos professores.

Outro aspecto que constitui um campo de pesquisa no ensino de Química é o emprego de recursos visuais na abordagem de conceitos científicos. As imagens fazem parte da História da Química desde a época dos alquimistas. Naquele período, vários códigos foram elaborados e utilizados para representar, por exemplo, os elementos químicos. Alguns símbolos, como o utilizado para o aquecimento permanece até hoje (MAAR, 2008).

Apesar de sua importância durante o desenvolvimento científico, os recursos visuais não são prioridade na educação básica ou superior. Geralmente, o conhecimento científico é expresso por meio da linguagem escrita. No entanto, as imagens podem desenvolver nos estudantes a habilidade de interpretar os fenômenos químicos em nível molecular (PASELK, 1994). Conforme Kiill (2009), fazer com que os estudantes entendam os fenômenos químicos na perspectiva do arranjo e movimento de moléculas e átomos é um dos principais objetivos do ensino de Química. Esse propósito poderá ser atingido recorrendo ao emprego de recursos visuais durante o desenvolvimento dos tópicos em sala de aula.

Outro argumento utilizado a favor das imagens no ensino de Química é que, quando bem empregadas, favorecem a transição entre os níveis de representação da matéria. Sabe-se que isso é necessário para que os estudantes sejam capazes de compreender a natureza e seus fenômenos fundamentados na teoria científica. Neste contexto, Gibin e Ferreira (2013) constataram que o nível simbólico é o mais utilizado no ensino formal de Química. No entanto, afirmam que imagens que apresentam diferentes níveis de representação podem auxiliar no processo de imaginar fenômenos, no estabelecimento de relações entre a teoria e a prática. Os autores ressaltam a importância do emprego de imagens que representam o nível submicroscópico em sala de aula, ou seja, que evidenciam aspectos não observáveis, desta forma, favorecendo o processo de compreensão de fenômenos químicos.

O contato dos estudantes e professores com imagens relacionadas ao contexto químico ocorre, na maioria das vezes, por intermédio dos LD. A fim de conhecer as funções didáticas que os recursos visuais possuem nesses materiais didáticos, Perales e Jiménez (2002) realizaram uma revisão na literatura, em que destacam as seguintes funções:

- Ilustrar os livros, ou seja, torná-los mais atrativos para despertar o interesse dos leitores;
- Descrever situações ou fenômenos baseando-se na capacidade humana de processar a informação visual e sua vantagem frente aos textos escritos na estimulação dos modelos mentais;
- Explicar as situações descritas. Isto é, neste caso as ilustrações não mostram apenas o mundo, mas também o que o transforma com a intenção de evidenciar relações ou ideias não evidentes por si mesmas, a fim de facilitar sua compreensão por parte do leitor (PERALES; JIMÉNEZ, 2002, p. 372, tradução nossa).

Em outra ocasião, nosso grupo<sup>1</sup> pesquisou as representações visuais utilizadas pelos LD aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), triênio 2012-2014, na abordagem do conteúdo de modelos atômicos (SILVA; BRAIBANTE; PAZINATO, 2013). Nesta pesquisa, analisamos 163 recursos visuais utilizados nos capítulos referentes aos modelos atômicos e identificamos uma diversidade na forma como estes recursos são utilizados nos cinco livros avaliados. Dentre os resultados, detectamos um grande número de ilustrações desconectadas do texto principal, o que dificulta a linearidade da leitura, visto que os textos escritos e as imagens se complementam. Em relação ao nível de representação da matéria, observamos que a grande maioria das imagens faz alusão aos níveis macroscópico e simbólico. Por fim, alertamos para o cuidado com a qualidade das imagens presentes nos LD, já que desempenham importante papel para o ensino e a aprendizagem.

Em específico sobre o emprego de recursos visuais na abordagem do conteúdo de ligações químicas, Matus, Benarroch e Nappa (2011) classificaram as imagens utilizadas em 18 LD de três níveis de ensino da educação argentina (livros destinados a estudantes de 12, 15 e 18 anos) em: grau de iconicidade, linguagem envolvida e o modelo atômico.

Em relação à iconicidade, observaram que a medida que o nível de ensino aumenta, diminui o grau de iconicidade, ou seja, aumenta a abstração das representações. Nos LD para estudantes de 12 anos, a maioria das representações é figurativa, principalmente do tipo modelo “bolas”. Já nos LD para estudantes de 15 e 18 anos, estas representações são substituídas pelas de Lewis, orbitais moleculares e orbitais híbridos, de menor grau de iconicidade.

---

<sup>1</sup> Laboratório de Ensino de Química (LAEQUI) é um grupo de pesquisa da área de ensino de Química da UFSM (BRAIBANTE e PAZINATO, 2014).

A respeito do tipo de linguagem envolvida, o uso de representações gráficas diminui gradualmente ao ascender de nível. Esta observação é feita com base no número de imagens apresentadas nos LD de cada nível, sendo os valores: 65% para o nível mais básico, 19% para o intermediário e 5% para o universitário. Os autores dos LD preferem utilizar modelos com linguagens mais formais para os níveis mais adiantados.

Por último, o modelo atômico utilizado para representar as ligações químicas que considera a configuração eletrônica é uma constante nos livros dos três níveis de ensino. No nível mais básico, encontra-se um número expressivo de representações que não consideram as configurações eletrônicas dos átomos. Em contrapartida, os livros do nível mais avançado apresentam uma quantidade apreciável de ilustrações que utilizam o modelo ondulatório. Os autores ainda reforçam o cuidado que se deve ter na utilização das representações em cada nível educativo e concluem que essas são muito diversas.

Scalco, Cordeiro e Kiill (2015) verificaram a importância das imagens presentes nos LD para compreensão do conteúdo de ligação iônica. Os sujeitos da pesquisa frequentavam a terceira série do ensino médio e já haviam estudado o conteúdo de ligações químicas em sala de aula. Para realização do estudo, os pesquisadores selecionaram uma imagem que expõe o modelo que explica a ligação iônica, contemplando a representação do retículo cristalino do cloreto de sódio. Os estudantes deveriam observar e descrever o que compreendiam sobre a imagem, que foi apresentada por meio de um questionário.

A análise dos resultados foi baseada na teoria semiótica peirceana proposta por Charles S. Peirce. As respostas dos estudantes foram classificadas de acordo com a relação signo e interpretante dinâmico, a partir das categorias: emocional, energético e lógico. Os autores afirmam que a partir dessas classificações é possível identificar a influência de uma imagem na compreensão do conteúdo de ligação iônica, verificando como os alunos se utilizam dessa para representarem seu conhecimento.

Quanto aos resultados, não houve respostas classificadas como interpretante emocional, o que indica que os estudantes possuem alguma ideia sobre o assunto.

68% das repostas foram classificadas como interpretante energético, ou seja, há uma predominância de respostas que identificam os constituintes químicos representados na imagem como, por exemplo, bolas de determinada cor representam os íons sódio. E o restante das repostas (32%) foi classificado na categoria interpretante lógico, que apresenta como característica a compreensão da organização dos íons de cargas opostas, além da atração mútua entre eles que forma o retículo cristalino iônico, característico da substância cloreto de sódio.

Os autores ainda analisaram especificamente as repostas da categoria interpretante lógico em níveis, que podem ser: elementar, intermediário e avançado. Dos 32% de repostas analisadas, a maioria delas é do tipo elementar, pois apresenta características de lei e evidências da compreensão dos conceitos relacionados à formação da ligação iônica, como por exemplo, a atração entre íons.

As repostas classificadas como interpretante lógico com grau intermediário consideram a atração dos íons e também apresentam indícios de compreensão de uma quantidade não limitada da estrutura cristalina representada.

No último nível, interpretante lógico em grau avançado, as repostas classificadas apresentam generalizações dos conceitos relacionados à ligação iônica. As repostas demonstram o entendimento de que o sal de cozinha tem em sua composição íons de cargas opostas que se atraem para formar o composto, relacionando essa característica com as propriedades periódicas dos átomos. O termo estabilidade é utilizado ao fazer referência à doação de um elétron do sódio para o cloro, aspecto relacionado à teoria do octeto. Neste sentido, nas repostas deste nível é possível verificar a interpretação e compreensão da formação de uma ligação do tipo iônica.

Para finalizar o artigo, os autores afirmam que as imagens têm importante função para a compreensão de conceitos químicos, principalmente os que são representados por modelos submicroscópicos, como é o caso das ligações químicas.

Levando em consideração esses referenciais e certos de que este tipo de investigação contribui de forma significativa no aprimoramento da qualidade dos livros textos de Química, optou-se por avaliar a abordagem do conteúdo de ligações

químicas pelos LD, aprovados pelo PNLD do triênio 2015-2017, que será apresentada na unidade I do capítulo 3.

#### 1.4 OS PROFESSORES COMO FOCO DE PESQUISA

A forma como o conteúdo de ligações químicas é apresentado no ensino médio influencia na construção do conhecimento referente ao tópico pelos estudantes. Ao desenvolverem os conteúdos em sala de aula, os professores são orientados, mesmo que inconscientemente, por suas visões, crenças e concepções sobre diversos aspectos relacionados ao ensino de Ciências. Se perguntássemos para um grupo de professores algumas questões, tais como: por que ensinam, como ensinam, o que ensinam e para quem ensinam, certamente obteríamos respostas com diferentes embasamentos e visões de ensino. Essas poderiam fornecer indícios de como são as ações de determinado professor em sala de aula.

É nesse contexto que se justifica esta breve revisão sobre pesquisas que investigam a prática docente e os fatores que a influenciam. Conforme já salientado, o objetivo da primeira parte desta pesquisa é conhecer como o conteúdo de ligações químicas está sendo desenvolvido no ensino médio. Para tanto, é necessário identificar as escolhas tanto teóricas quanto metodológicas dos professores.

Uma ferramenta com potencial para embasar a investigação desenvolvida com os professores na presente tese é conhecida na literatura como modelo didático. Diversas pesquisas (GARCÍA PÉREZ, 2000; PEME-ARANEGA et al., 1999, 2005; CHROBAK, 2006; GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006; SANTOS JÚNIOR; MARCONDES, 2010) têm se preocupado em relacionar os pensamentos, visões, crenças epistemológicas e didáticas dos professores com a forma como exercem a docência.

Segundo Chrobak (2006), o modelo didático pode ser visto como um esquema intermediário entre a realidade e o pensamento do professor. Possui um caráter provisório e de aproximação com a realidade, também pode ser útil para a prática e desenvolvimento do professor enquanto profissional.

Campos (2012) acrescenta ao modelo didático a função de identificar problemas. De acordo com o autor, os modelos didáticos constituem meios para abordar os problemas do ensino em sala de aula, pois permitem estabelecer relações entre análises teóricas e a intervenção prática. A caracterização de um modelo didático envolve a seleção e estudo dos principais aspectos relacionados ao pensamento e a prática do docente.

Neste sentido, Peme-Aranega et al. (2005) enfatizam a importância da relação entre as crenças e práticas dos professores. É por meio da reflexão de suas crenças que os professores podem reelaborar suas concepções e modificar sua prática, no sentido de evoluir para uma atuação mais adequada ou desejável. Em outro trabalho, Peme-Aranega et al. (1999) desenvolveram a teoria “substantiva” (tradução nossa). Os objetivos gerais desta teoria são desenvolver metodologias, procedimentos e instrumentos adequados para descrever, analisar e caracterizar as crenças epistemológicas e didáticas, explícitas e implícitas, dos professores de Ciências; bem como relacionar com a maneira com que impactam os processos de ensino.

Devido à grande quantidade de trabalhos que tratam de modelos didáticos é conveniente focar a discussão no referencial teórico que adotamos nesta pesquisa. Procuramos analisar a maneira como está sendo desenvolvido o conteúdo de ligações químicas pelos professores do ensino médio entrevistados, embasados na teoria de García Pérez (2000), da qual apresentaremos os principais fundamentos a seguir.

A busca por respostas a questões ‘chave’ levou García Pérez (2000) a propor a ideia do modelo didático como um instrumento de análise de problemas educativos, relacionando aspectos teóricos à prática. Alguns exemplos destas questões são:

- *que tipo de **conhecimento** cremos que deve ser proporcionado aos jovens durante a educação básica?;*
- *qual **cultura escolar** devemos propor?;*
- *quais tipos de **socializações** facilitarão esta cultura?*
- *quais vínculos existem entre o modelo de cultura escolar e os **sistemas de ideias**, não tão formalizados, mas funcionais, que os alunos lidam fora do ambiente escolar?;*



Neste contexto, o autor propõe uma questão mais ampla e integradora, que engloba todos os aspectos levantados anteriormente: *Qual modelo didático consideramos adequado como instrumento de análise e de intervenção na realidade educativa?* Para García Pérez (2000), um modelo didático é constituído pelo conhecimento, pelas crenças, pela cultura, pelas relações sociais que permeiam o processo de ensino e aprendizagem, além da intencionalidade do professor em ensinar seus alunos. Neste sentido, a ideia de modelo didático

permite abordar (de maneira simplificada, como qualquer modelo) a complexidade da realidade escolar, ao mesmo tempo em que ajuda a propor procedimentos de intervenção na mesma e a fundamentar, portanto, linhas de investigação educativa e de formação de professores (GARCÍA PÉREZ, 2000, p. 4, tradução nossa).

A partir de cinco dimensões: por que ensinar, o que ensinar, ideias e interesses dos alunos, como ensinar e avaliação; García Pérez (2000) elaborou uma classificação dos modelos didáticos, que foram denominados: Tradicional, Tecnológico, Espontaneísta e Alternativo.

O modelo tradicional é mais entrincheirado nas escolas, baseado em uma perspectiva de transmissão cultural. A Ciência é concebida como um acúmulo de conhecimentos acabados, absolutos e verdadeiros. É caracterizado por uma supervalorização dos conteúdos e o aluno possui um papel passivo no processo de ensino e aprendizagem, não tendo participação no planejamento das atividades e sendo avaliados individualmente em relação à assimilação dos conteúdos. Ao docente cabe, além do planejamento, controlar a disciplina da sala.

O modelo tecnológico surge como uma tentativa de superação do modelo didático tradicional, em que se busca uma formação mais "moderna". No modelo tecnológico, a formação é centrada em saberes atualizados, associados às temáticas sociais e ambientais. Esse modelo é caracterizado por apresentar objetivos bem definidos. Geralmente, não leva em conta as ideias dos estudantes e, quando as considerada, elas são vistas como erros conceituais. O papel do aluno é o de executar as atividades programadas pelo professor, que tem a função de direcionar o andamento das atividades. As avaliações são por intermédio de testes e exercícios.

No modelo espontaneísta, a finalidade é educar os estudantes a partir da realidade que os cerca. Os professores possuem como convicção que o conteúdo a ser abordado é consequência dos interesses e experiências dos alunos, que são tidos como centro do processo, sendo valorizado o desenvolvimento de suas habilidades e competências. Seus interesses imediatos são fundamentais para esse modelo, porém não considera suas ideias.

Os alunos têm um papel ativo na construção do seu conhecimento e é esperado que compreendam seu contexto social por meio dos conteúdos, que aprenderam pelo método da descoberta. No modelo espontaneísta, o professor é visto como uma liderança, que coordena o trabalho dos alunos. As avaliações ocorrem mediante observação direta, muitas vezes a partir de trabalhos em grupos.

O modelo didático alternativo, também conhecido como modelo didático de investigação na escola, é proposto com a finalidade educativa de “enriquecer o conhecimento dos alunos” em uma direção que conduza para uma visão mais completa e crítica da realidade, que sirva de fundamento para uma participação responsável na mesma. Neste modelo é adotada uma visão relativa, evolutiva e integradora do conhecimento. Um importante componente do conhecimento escolar é o conhecimento disciplinar, entretanto, são referências importantes o conhecimento cotidiano, a problemática social e o conhecimento metadisciplinar (CAMPOS, 2012).

O professor e o aluno exercem um papel ativo neste modelo. O primeiro é investigador de sua prática pedagógica e os segundos são construtores e reconstrutores de suas aprendizagens. Além disso, as ideias e os interesses dos estudantes são considerados e a metodologia é concebida como um processo de investigação escolar, desenvolvido com a ajuda do professor. O modelo alternativo considera a abordagem de problemas o mecanismo mais adequado para favorecer a construção do conhecimento proposto.

A fim de sistematizar estas informações, o Quadro 1 apresenta as dimensões consideradas por García Pérez (2000) para a proposição dos quatro modelos discutidos, bem como suas características.

Quadro 1 – Características básicas dos modelos didáticos

Dimensão	Tradicional	Tecnológico	Espontaneísta	Alternativo
Por que ensinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporcionar as informações fundamentais da cultura vigente.</li> <li>- Obsessão pelos conteúdos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporcionar uma formação “moderna” e “eficaz”.</li> <li>- Obsessão pelos objetivos. Segue uma programação detalhada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- educar o estudante, mergulhando-o na realidade imediata.</li> <li>- Importância do fator ideológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enriquecimento progressivo do conhecimento do estudante até modelos mais complexos, de entender o mundo e de atuar nele.</li> </ul>
O que ensinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sínteses do saber disciplinar.</li> <li>- Predomínio das “informações” de caráter conceitual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saberes disciplinares atualizados com incorporação de alguns conhecimentos não disciplinares. Conteúdos preparados por especialistas para serem utilizados pelos professores.</li> <li>- Importância do conceito, porém outorgando também certa relevância às habilidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conteúdos presentes na realidade imediata.</li> <li>- Importância das habilidades e das atitudes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conhecimento “escolar” que integra e relaciona diversos tópicos (disciplinares, cotidianos, problemática social e ambiental, conhecimento metadisciplinar).</li> <li>- A aproximação do conhecimento escolar desejável se realiza através de uma “hipótese geral de progressão na construção do conhecimento”.</li> </ul>
Ideias e interesses dos alunos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não leva em conta, não se interessa pelas ideias dos estudantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não considera os interesses dos estudantes.</li> <li>- Às vezes considera as ideias dos estudantes, considerando-as como “erros” que tem que substituir por conhecimentos adequados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considera os interesses imediatos dos estudantes.</li> <li>- Não considera as ideias dos estudantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considera os interesses e as ideias dos estudantes, tanto em relação ao conhecimento proposto, como em relação à construção desse conhecimento.</li> </ul>
Como ensinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia baseada na transmissão pelo professor</li> <li>- Atividades centradas na exposição do professor, com apoio no livro texto e em exercícios de revisão.</li> <li>- O papel do estudante consiste em escutar atentamente, “estudar” e reproduzir nos exames os conteúdos transmitidos.</li> <li>- O papel do professor consiste em explicar e manter a ordem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia vinculada aos métodos das disciplinas.</li> <li>- Atividades que combinam a exposição e as práticas, frequentemente em forma de sequência de descoberta dirigida ( e em ocasiões de descoberta espontânea).</li> <li>- O papel do estudante consiste na realização sistemática das atividades programadas.</li> <li>- O papel do professor consiste na exposição e na direção das atividades de classe, além de manter a ordem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia baseada na “descoberta espontânea” por parte do estudante.</li> <li>- Realização por parte do estudante de múltiplas atividades (frequentemente em grupos) de caráter aberto e flexível.</li> <li>- Papel central e protagonista do estudante (que realiza grande diversidade de atividades).</li> <li>- O papel do professor não é o de dirigir; coordena a dinâmica social da classe como líder social e afetivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia baseada na ideia de “investigação (escolar) do estudante”.</li> <li>- Trabalho em torno de “problemas” com sequências de atividades relativas ao tratamento desses problemas.</li> <li>- Papel ativo do estudante como construtor (e reconstrutor) do seu conhecimento.</li> <li>- Papel ativo do professor como coordenador dos processos e como “investigador em aula”.</li> </ul>
Avaliação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrada em “recordar” os conteúdos transmitidos.</li> <li>- Tem como foco o resultado.</li> <li>- Realizada mediante exames.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrada na mediação detalhada das aprendizagens.</li> <li>- Voltada para o resultado, porém tem intenção de medir alguns processos (por exemplo, teste inicial e final).</li> <li>- Realizada mediante testes e exercícios específicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrada nas habilidades e, em parte, nas atitudes.</li> <li>- Atende ao processo, mesmo que não seja de forma sistemática.</li> <li>- Realizada mediante a observação direta e a análise de trabalhos de estudantes (sobretudo em grupos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrada tanto no seguimento da evolução do conhecimento dos estudantes, da atuação do professor e no desenvolvimento do projeto.</li> <li>- Atende de maneira sistemática aos processos. Reformulação a partir das conclusões que vão sendo obtidas.</li> <li>- Realizada mediante diversidade de ferramentas de monitoramento.</li> </ul>

Fonte: (GARCÍA PÉREZ, 2000, tradução nossa).

Os modelos didáticos de García Pérez (2000) têm fundamentado diversas pesquisas que se propõem a investigar a prática docente. O trabalho de Guimarães, Echeverría e Moraes (2006) apresenta os resultados de um estudo realizado com 56 professores de Ciências da rede pública municipal de Goiânia. As autoras buscaram identificar os modelos didáticos destes professores subjacentes às suas ideias sobre o ensino/aprendizagem. Os professores foram questionados sobre os conteúdos, as estratégias de ensino e a avaliação.

Com base nas respostas obtidas, Guimarães, Echeverría e Moraes (2006) relatam que os modelos didáticos dos professores participantes são ecléticos, misturando características dos vários modelos propostos por García Pérez (2000), no entanto, estando mais próximos do espontaneísta.

Em uma das categorias avaliadas, os conteúdos escolares, as autoras identificaram três diferentes tendências de concepções dos professores:

- Tendência Conservadora, quando os conteúdos têm um caráter de permanência, sendo considerados óbvios e inquestionáveis, como os apresentados nos livros didáticos;
- Tendência Pragmática, quando os conteúdos têm caráter utilitário, ou seja, devem ser úteis no dia a dia;
- Tendência Transformadora, quando os conteúdos têm um caráter formativo e favorecem tanto o desenvolvimento intelectual quanto a capacidade de ação do indivíduo.

Essas tendências também foram utilizadas na presente pesquisa como embasamento teórico para a análise da categoria “ensino de ligações químicas”, na qual se investigou a importância que os professores da educação básica entrevistados atribuem ao tópico, os conceitos que consideram relevantes e os referenciais utilizados para a seleção dos mesmos.

Santos Júnior e Marcondes (2010) investigaram os modelos didáticos de 20 professores de Química de escolas do estado de São Paulo. Para isso, desenvolveram um instrumento baseado nos pressupostos de García Pérez (2000), que continha uma pergunta-chave correspondente a cada dimensão didática e para cada uma delas existiam quatro proposições características de cada modelo didático.

Em relação aos resultados, os autores comentam que o modelo didático pessoal dos professores é composto por características dos diferentes modelos, sendo classificados como consistentes ou inconsistentes. Os últimos citados se referem ao fato de um mesmo professor apresentar, por exemplo, características de modelos antagônicos como o tradicional e espontaneísta.

Seguindo este raciocínio, os pesquisadores identificaram em três professores o modelo eclético espontaneísta - alternativo. Em outros sete professores identificaram um estado em que a tendência para este modelo eclético parece estar se consolidando. Porém, para dez professores não foi possível identificar um modelo capaz de representar as ideias e concepções deles sobre o ensino. Segundo os autores, isto indica que esse grupo precisa refletir sobre suas concepções e ideias, prática que não é comum entre os docentes, seja em suas rotinas escolares ou em cursos de formação continuada. Por fim, os autores reforçam a necessidade de se propor situações em que essas inconsistências possam ser resolvidas, tornando a visão sobre o ensino e a aprendizagem dos professores mais coesa e consistente (SANTOS JÚNIOR; MARCONDES, 2010).

A tese de Campos (2012) buscou identificar o modelo didático de professores em formação e interpretar como mudam estes modelos em um trabalho reflexivo que se baseia na elaboração de uma sequência didática, centrada na narrativa científica sobre ligação química. A autora convidou 13 acadêmicos de licenciatura em Química de uma universidade tradicional do Chile, matriculados no estágio final do curso, para participarem da pesquisa. Apenas quatro estudantes concordaram em participar, destes apenas dois desenvolveram a etapa final da pesquisa “Projeto didático e aplicação-avaliação”, que consiste em elaborar e aplicar, em um contexto de sala de aula, uma sequência didática sobre o conteúdo de ligações químicas.

De maneira geral, os resultados obtidos mostram a coexistência de modelos didáticos para as diferentes categorias de análise. Na categoria “Qual Química ensinar?” foram observadas escassas modificações, pois as concepções das duas professoras sobre o conteúdo e sua construção são persistentes e duradouras, o que é pouco provável que variem em um período curto de tempo. O modelo didático de uma das professoras foi classificado como tradicional no início e final do estudo, pois

é centrado no saber disciplinar. Enquanto o modelo da outra professora foi de espontaneísta para alternativo, centrado na compreensão do mundo.

As principais mudanças nos modelos didáticos foram observadas nas categorias “Como ensinar Química?” e “Para que ensinar Química?”. A autora atribui este resultado ao trabalho coletivo das duas professoras, o que favoreceu o estudo da Didática das Ciências, principalmente em relação à comunicação científica em aula e avaliação de competências do pensamento científico. Nestas duas categorias, os modelos didáticos das professoras avançaram no sentido de um ensino mais construtivista, sendo classificado em espontaneísta ou alternativo.

A autora destaca que as professoras participantes da investigação aprenderam a projetar instrumentos adequados em relação às narrativas científicas. A finalidade dos instrumentos é evidenciar as diferentes explicações dos alunos sobre a teoria das ligações químicas. Finalmente, sugere que ações mediadoras e de intervenção sejam desenvolvidas, a fim de melhorar a formação inicial dos professores de Química.

Estas pesquisas, juntamente com os modelos didáticos de García Pérez (2000), servirão de suporte teórico para a investigação realizada com os professores da educação básica, que será apresentada na terceira investigação da unidade I do capítulo 3. Uma ressalva a ser feita, é que analisamos as concepções dos professores para que a partir delas, pudéssemos entender sua prática em relação ao conteúdo de ligações químicas. Logo, uma limitação desta investigação é supor que o pensamento dos professores condiz com sua prática. Conforme apontam os trabalhos supracitados, os modelos didáticos apresentam limitações, como qualquer outro modelo. Mas, podem ser úteis para detectar problemas estreitamente ligados à atuação do professor em sala de aula, o que justifica nossa opção por este referencial teórico.

## CAPÍTULO 2

### RESGATE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM LIGAÇÕES QUÍMICAS E A NOÇÃO DO PERFIL EPISTEMOLÓGICO

Neste capítulo são apresentados alguns fatos históricos que influenciaram na construção do conhecimento científico acerca das ligações químicas, demonstrando sua relação com o desenvolvimento da teoria atômica. Esse breve resgate enfatiza tópicos de interesse desta tese, que correspondem à parte do conhecimento gerado abordada no ensino médio, tais como: estabilidade química e modelos científicos para as ligações iônica, covalente e metálica.

Também são apresentados os modelos curriculares utilizados para o ensino de ligações químicas no nível médio e a noção de perfil epistemológico. O propósito em utilizar elementos deste recurso proposto por Bachelard no presente trabalho é a possibilidade de acompanhar a construção do conhecimento químico em relação às ligações químicas na unidade II (capítulo 3).

#### 2.1 BREVE HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM LIGAÇÕES QUÍMICAS

Os conceitos atuais relacionados ao conteúdo de ligações químicas passaram por inúmeros estudos e rupturas ao longo da história da Química. Em específico, nos séculos XIX e XX ocorreram as principais contribuições para o entendimento atual sobre a natureza, o arranjo e as formas de interações interatômicas. Neste período se originaram as principais teorias ensinadas nas escolas e universidades. No entanto, esse assunto vem rendendo discussões há milhares de anos.

Relatos que datam de 440 a.C., época dos gregos Leucipo de Mileto e Demócrito de Abdera, fazem menção pela primeira vez à minúsculas partículas que constituem a matéria e às interações entre elas. Essas partículas foram denominadas de átomos, proveniente da palavra grega *ατομη*, que significa não divisível. Sobre as interações entre as partículas, acreditavam que essas eram provenientes de choques, resultantes do contínuo movimento dos átomos, que podiam permanecer unidos

através de “ganchos” e “farpas” que constituíam a superfície dos mesmos (NATURALISTIC EPISTEMOLOGY, 2015).

Essas ideias foram muito criticadas por outros filósofos como Platão (427-347 a.C.) e Aristóteles (384-322 a.C.), que acreditavam que a continuidade da matéria era consequência da união dos elementos terra, água, fogo e ar. As ideias aristotélicas perduraram por muito tempo, até o aparecimento da teoria do flogisto no século XVII (TOMA, 2013).

O químico alemão George Ernst Stahl (1660-1734 d.C.) formulou a teoria do flogisto, a qual afirmava que os materiais inflamáveis continham o flogisto, substância sem cor, cheiro, sabor ou massa, liberada durante a queima. Acreditava-se, por exemplo, que os átomos de carbono e enxofre eram constituídos apenas de flogisto, o que explicava sua inflamabilidade. Para Stahl, estava elucidado o fenômeno da combustão, que depois de cessado ficava a essência do material, ou seja, a cinza (ESPINOZA, 2004; TOMA, 2013).

Porém Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), cientista francês considerado o pai da Química Moderna, postulou que a combustão é uma reação em que o oxigênio se combina com outra substância e, por volta de 1800 a teoria do flogisto estava desacreditada por toda comunidade científica. Dentre as contribuições de Lavoisier destaca-se a determinação sistemática dos reagentes e produtos nas reações químicas, incluindo os componentes gasosos, o que culminou na Lei da conservação da massa, que em síntese postula: “A matéria pode mudar de forma, mas a massa total de uma substância envolvida em uma reação química segue sendo a mesma” (ESPINOZA, 2004, p. 28, tradução nossa).

Também é importante ressaltar a contribuição de Joseph Louis Proust (1754-1826), que desenvolveu em 1794 a Lei das proporções constantes, publicada em 1799. Proust afirmou que em um dado composto, os elementos constituintes são sempre combinados nas mesmas proporções em massa, independentemente da origem e do método de preparação (BRADY; SENESE, 2011). Essa lei permitiu diferenciar uma substância pura de uma mistura, pois nesta última, a composição pode ser variada, logo as proporções dos elementos não são constantes (TOMA, 2013). Essa observação é válida para todos os compostos puros, a exemplo da água que apresenta uma razão



de massa constante igual a 8:1, referente à massa do oxigênio que é sempre oito vezes maior que a massa do hidrogênio.

As Leis da “conservação da massa” e das “proporções constantes” foram marcos na história da Química do século XVIII e forneceram o embasamento teórico para a teoria atômica e para as ligações químicas. Com o conhecimento de que uma transformação química ocorre pelo rearranjo de átomos com uma massa total constante e que um composto é constituído por átomos do mesmo elemento químico na mesma proporção numérica, John Dalton (1766-1844) possuía as peças-chaves para o desenvolvimento de sua teoria atômica.

Entrando para a história da Química do século XIX, em 1808, Dalton postulou que os compostos químicos formavam-se pela combinação de dois ou mais elementos, o que deriva de sua teoria atômica, a qual diz:

1. A matéria consiste em pequenas partículas denominadas átomos.
2. Os átomos são indestrutíveis. Nas reações químicas, os átomos mudam suas posições relativas, mas permanecem intactos.
3. Em qualquer amostra de um elemento puro, as massas e as outras propriedades de todos os átomos são idênticas.
4. Os átomos de elementos diferentes têm massas e outras propriedades diferentes.
5. Quando átomos de elementos diferentes se combinam para formar compostos, formam-se novas partículas mais complexas. Entretanto, os átomos que constituem um determinado composto estão sempre presentes na mesma proporção numérica (BRADY; SENESE, 2011, p. 40).

Essa teoria elucidou a constituição da matéria em seu nível mais íntimo, tendo marcado o início do atomismo científico. Dalton tratou da existência de átomos e apoiado em leis sobre a combinação da matéria forneceu respostas a fatos que até então eram inexplicáveis. Suas observações foram tão precisas, que ainda hoje, se ajustam quase que inteiramente aos fatos e às descobertas experimentais (ESPINOZA, 2004). Neste contexto, a teoria atômica de Dalton deu início ao cálculo sistemático das massas atômicas para todos os elementos, e o conduziu, juntamente com outros cientistas, a formulação da lei das proporções múltiplas. Nesta lei, Dalton se deteve a estudar os elementos que podem ser combinados para dar dois ou mais compostos.

Praticamente nesta mesma época, outros cientistas começaram a pensar sobre a natureza elétrica da matéria e das ligações químicas. O ano de 1800 entra para história com a descoberta da eletricidade por meio da construção da primeira “pilha” ou “bateria” pelo italiano Alessandro Volta (1745-1827). O dispositivo desenvolvido era constituído por discos de cobre e ferro empilhados, parecendo uma pilha de moedas, o que deu origem ao seu nome. Desta forma, Volta estabeleceu que uma reação química entre diferentes espécies de átomos produziria uma corrente elétrica (BEZERRA; SILVA, 2001).

A partir disso, vieram as contribuições dos ingleses William Nicholson (1753-1815) e Anthony Carlisle (1768-1840) que efetuaram, por meio de uma corrente elétrica, a decomposição da água em seus átomos constituintes gasosos. Em 1806, o também inglês Humphry Davy (1778-1829) percebeu que quando uma corrente elétrica passava através de algumas substâncias, essas se decompunham, processo que denominou de eletrólise. Desta maneira, descobriu:

- em 1807, o sódio e potássio;
- em 1808, o magnésio, estrôncio e bário. Além disso, nesse mesmo ano, juntamente com Gay-Lussac e Thénard, descobriu o boro;
- que o cloro era um elemento, já que Lavoisier pensava que era um óxido desconhecido. Também, contribuiu para o estabelecimento do iodo como elemento químico, ainda que seu descobridor tenha sido Bernard Courtois em 1811 (ESPINOZA, 2004; BEZERRA; SILVA, 2001).

Davy compreendeu que a ação da eletrólise e da pilha voltaica era a mesma, o que o conduziu a propor que a força que mantinha os átomos unidos em um composto era de natureza elétrica. Esta foi a primeira associação feita entre forças de interações e força gerada pela eletricidade. Neste momento, se instituiu um caráter elétrico à ligação química (DÍAZ, 2011).

Levando em consideração a associação entre as interações e a eletricidade proposta por Davy, as contribuições de Volta para eletroquímica e a teoria atômica de Dalton, em 1818, Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) propõe a teoria eletroquímica da ligação ou teoria dualística. Segundo essa teoria, todo composto químico é formado de duas partes, uma positiva e outra negativa, que independe do número de

seus elementos constituintes. Além disso, considerou que toda combinação química dependia somente das forças opostas, as quais se atraíam em um processo de neutralização de cargas.

Berzelius dividiu os elementos em dois grupos, eletropositivos e eletronegativos, dependendo do eletrodo no qual se liberavam durante a eletrólise. Isso funcionava muito bem para a formação dos sais inorgânicos, como no caso do sulfato de bário ou de magnésio, carbonato de sódio, entre outros (ESPINOZA, 2004). Neste contexto, foi o primeiro a empregar o conceito de polaridade a capacidade de combinação de um átomo com outros.

A teoria de Berzelius se manteve até praticamente metade do século XIX, quando houve a necessidade de explicar a formação de moléculas biatômicas, tais como  $H_2$ ,  $N_2$  e  $O_2$ , além do surgimento da Química Orgânica, com a união de átomos do tipo carbono-carbono. De acordo com a teoria dualística da ligação química, átomos com cargas iguais não poderiam se unir.

Como consequência dos fatos não explicados, a teoria de Berzelius passou por um período de descrédito, o que diminuiu o interesse dos cientistas pelo entendimento das interações químicas. Concomitante com esses fatos começava-se, em 1852, o estudo a respeito do poder combinatório dos átomos durante a formação dos compostos. Edward Frankland (1825-1899) observou que cada tipo de átomo tem uma capacidade fixa ou limitada para ligar-se com outros átomos. Surgia, o que mais tarde, em 1868, seria conhecido como valência (ESPINOZA, 2004).

Em 1857, Friedrich Kekulé (1829-1896) propôs que o átomo de carbono teria a possibilidade de se unir com outros quatro átomos. No ano de 1858, tanto Kekulé quanto Archibald Scott Couper (1831-1895) postularam que os átomos de carbono poderiam se ligar a outros por meio de longas cadeias carbônicas. No entanto, a contribuição mais efetiva de Kekulé foi sua proposta para a estrutura do benzeno, com o esquema de três ligações em ressonância dentro do anel (GONZÁLEZ, 2007).

Posteriormente, em 1881, Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), físico alemão, retomou as ideias de Berzelius para tratar sobre o papel das forças elétricas na matéria. Helmholtz questionou: “[...] podem as atrações entre as enormes cargas elétricas dos ânions e dos cátions serem uma parte sem importância e

indiferente para a afinidade química?” (ESPINOZA, 2004, p. 78, tradução nossa). Somando a isso, o químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) também acreditava que as forças atrativas entre os átomos eram de natureza elétrica, conclusão obtida a partir de seus estudos em soluções aquosas (BEZERRA; SILVA, 2001). Apesar dessas evidências, os cientistas da época não possuíam um fundamento teórico que respaldasse suas observações.

Até que no ano de 1897, o matemático e físico inglês Joseph John Thomson (1876-1940) realizou o experimento conhecido como “Tubo de raios catódicos”. O aparato utilizado consistiu em um tubo de vidro com vácuo parcial em seu interior, além de duas peças de metal denominadas de eletrodos, os quais foram chamados de cátodo (carga negativa) e ânodo (carga positiva). Thomson ao aplicar uma diferença de potencial, ou seja, uma alta voltagem entre os eletrodos, observou uma descarga elétrica fluindo como um feixe a partir do cátodo. Isso foi possível, pois ao serem atingidos pelo feixe, os gases do interior do tubo emitiram luz, o que permitiu a visualização da trajetória. O feixe propagou-se em linha reta, no entanto, ao contrário da luz podia ser desviado por campos elétricos. Assim, Thomson demonstrou que os raios catódicos são constituídos por feixes de partículas negativas, ou seja, os elétrons. Por intermédio deste experimento, Thomson detectou que a massa dessa partícula era mais de mil vezes menor que a de um íon de hidrogênio e com precisão detectou sua relação entre massa e carga ( $m/e$ ). Fatos que lhe garantiram o prêmio Nobel em 1906 (TOMA, 2013).

O fim do século XIX vem acompanhado pelo conhecimento de que os átomos podem ser divididos e que seriam formados por uma massa uniforme positiva, suplementada por cargas esparsas carregadas negativamente. Desta forma, não há dúvidas que foi Thomson que abriu caminho para Rutherford estudar a natureza das transformações radioativas e propor seu átomo planetário no início do século XX.

No que se refere às ligações químicas, no ano de 1901, Thomson sugeriu que um elétron podia ser transferido de um átomo para outro. Como consequência das cargas geradas pela transferência de elétrons, poderia explicar como se uniam os átomos para formar os compostos químicos (ESPINOZA, 2004). Essa retomada do caráter eletrostático para a explicação das ligações químicas ficou conhecida como a

“Teoria do positivo-negativo”. No entanto, a sua aplicação em compostos apolares e orgânicos continuava gerando uma série de conflitos.

Ao que parece a elucidação da combinação química entre os átomos ficou mais uma vez a mercê do desenvolvimento da teoria atômica. Apoiado na radioatividade, estudada pelo casal Pierre e Marie Curie, Ernest Rutherford (1871-1937) postula o átomo nucleado em 1909.

Os elementos radioativos, inicialmente estudados pelo casal Curie e após a morte de Pierre, em 1906, pesquisados de forma intensa por Marie, recebem este nome por apresentarem comportamento semelhante ao do elemento rádio. Isso significa que são instáveis, pois sofrem transformações por meio da emissão de três tipos de raios: alfa, beta e gama. Cada raio apresenta um comportamento distinto frente a um campo elétrico:

- raios alfa são atraídos pelo polo negativo, consequência de sua constituição com carga positiva (prótons e nêutrons);

- raios betas são desviados no sentido contrário dos raios alfa, atraídos pelo positivo, consequência de sua constituição com carga negativa (elétrons);

- raios gama não sofrem ação do campo elétrico, correspondem aos fótons, como o da luz (BRADY; SENESE, 2011).

Rutherford e colaboradores perceberam que a maioria das partículas alfa conseguia atravessar, com poucos desvios, o interior de uma fina lâmina de ouro. Fato que levou a ideia de que o interior do metal é constituído por espaços vazios. Portanto, Rutherford concluiu que no átomo existe um núcleo com alta densidade de massa, ao redor do qual orbitam os elétrons. A explicação para sua observação foi que os núcleos dos átomos de ouro, tendo carga positiva, eram capazes de defletir as partículas alfa por meio da repulsão eletrostática (TOMA, 2013).

No entanto, o modelo atômico proposto por Rutherford e fundamentado nas leis da Física Clássica não explicava o motivo pelo qual os elétrons não se chocavam no núcleo, visto que, por suas cargas opostas, deveriam estar atraídos, considerando o pequeno tamanho do átomo. Além disso, se o elétron gira ao redor do núcleo, em um momento esta energia irá acabar e a colisão seria inevitável.

Neste contexto, em 1911, Niels Henrik David Bohr (1885-1962) terminou seu doutorado sobre a teoria dos elétrons nos metais. Em 1912 iniciou seu estudo de pós-doutoramento na Inglaterra, em Cambridge, sob a orientação de Thomson, quem detectou o elétron. No ano de 1913, já em Manchester, começou a trabalhar no laboratório de Rutherford, que acabava de postular o átomo nucleado. A pretensão de Bohr era unificar as novas descobertas em uma teoria, que elucidasse o espectro atômico para átomos com um elétron (ESPINOZA, 2004).

Frente ao problema de estabilidade do modelo atômico de Rutherford, em 1913, Bohr combinou os estudos já realizados sobre o átomo com a teoria quântica desenvolvida por Planck, postulando que os elétrons se movem em órbitas fixas, tendo suas distâncias determinadas a partir do núcleo, com uma energia específica para cada nível. Também postulou que, nestes níveis definidos, os elétrons não irradiam energia e, assim, não caem em espiral no núcleo. Ao se movimentarem de uma órbita para outra, os elétrons absorverão ou emitirão energia, correspondente ao valor da diferença entre as órbitas (SILVA, 2013; ESPINOZA, 2004).

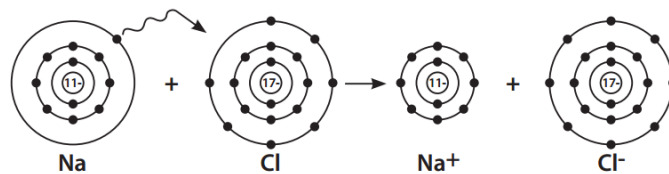
Um ano após os postulados de Bohr, em 1914, Thomson publica a existência de ligações não polares, no sentido de complementar a “Teoria do positivo-negativo”. Ele pensava que nessas ligações havia uma espécie de tubo de força (uma força atrativa) entre o elétron de um átomo e o núcleo do outro. Só que para isso não poderia estar envolvido apenas um elétron, visto que a ligação polar da época era entendida como a transferência de um ou mais elétrons. Thomson sugeriu que dois elétrons estariam envolvidos na ligação não polar, ideia bastante próxima do conceito moderno da ligação covalente (ESPINOZA, 2004).

Foi no ano de 1916, que Kossel (1888-1956) e Lewis (1875-1946) publicaram seus trabalhos sobre combinações químicas, que impulsionaram as teorias atuais sobre as ligações iônica e covalente. Esses estudos foram desenvolvidos a partir da ideia proposta por Abegg, em 1904, a respeito da relação entre a estabilidade dos gases nobres (recém-identificados) e a presença de oito elétrons em suas camadas de valência.

Kossel introduziu o conceito de transferência de elétrons para a formação de íons com estrutura de gás nobre. Ideia que posteriormente Langmuir denominou de

eletrovalência (DUARTE et al., 2008). A razão considerada para a estabilidade de um composto formado, por exemplo, entre um halogênio e um metal alcalino foi a formação de íons com o mesmo número de elétrons que os gases nobres correspondentes aos seus períodos na tabela periódica. No contexto exemplificado, o halogênio adquire carga negativa e o metal positiva. A atração eletrostática entre os íons seria a responsável pela formação da ligação química (Figura 3).

Figura 3 - Modelo para a formação do cloreto de sódio de acordo com Kossel



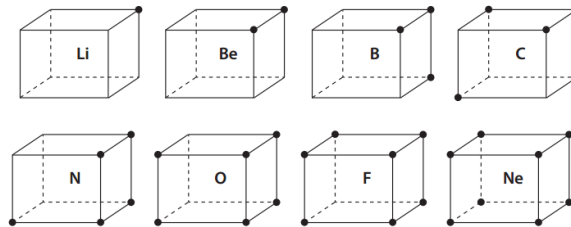
Fonte: (DUARTE et al., 2008, p. 59).

Nesta época, muitas propriedades dos átomos já estavam esquematizadas e conhecidas pela comunidade científica. Dentre elas, sabia-se que para diferenciar um elemento de outro se utilizava como critério o número de prótons do núcleo do átomo. Além disso, era conhecido que todos os átomos de um mesmo elemento químico tinham o mesmo número de prótons e que esses eram contrabalanceados pelos elétrons que circundavam na eletrosfera. Com isso, a posição de cada elemento na tabela periódica estava elucidada e dependente do número de elétrons da última camada eletrônica.

Posteriormente, o número de elétrons da camada de valência passaria a ser considerado o responsável pelo número de ligações químicas que o átomo poderia efetuar. Isso significou a compreensão de que átomos de elementos diferentes, tais como: lítio, sódio, potássio, rubídio e césio, todos com um elétron na última camada, apresentavam um comportamento químico similar, ou seja, podiam realizar somente uma ligação química. É nesta parte que Lewis deteve seus estudos, fazendo suas maiores contribuições (ESPINOZA, 2004).

Lewis, apenas cinco anos após a descoberta do elétron (1897), em 1902, comentava com seus alunos na Universidade de Harvard, sobre a posição dos elétrons no átomo. Para ele, o átomo era constituído por uma série concêntrica de cubos com elétrons localizados em cada vértice, de tal forma que a repulsão entre eles fosse a menor possível e o número máximo fosse oito, com exceção dos elementos do primeiro período da tabela periódica (H e He), em que o máximo era dois (ESPINOZA, 2004; BEZERRA; SILVA, 2001).

Figura 4 - Representação dos elétrons de valência segundo Lewis



Fonte: (DUARTE et al., 2008, p. 61).

Em síntese, os postulados lançados por Lewis em 1916 são:

I. Em cada átomo existe uma parte essencial que permanece inalterada em todas as transformações químicas, chamada de *Kernel*, que posteriormente foi denominada de *core*. Nesta porção do átomo se encontram o núcleo e os elétrons mais internos, os quais não neutralizam a carga do núcleo. Por isso, o *core* tem uma carga líquida positiva, que corresponde ao número da família ao qual pertence o elemento na tabela periódica.

II. Adicionalmente ao *core*, o átomo possui uma camada externa que no caso de um átomo neutro contém a quantidade de elétrons que determina o comportamento químico do átomo e são denominados de elétrons de valência, os quais são necessários para neutralizar a carga positiva do *core*. No entanto, durante uma transformação química, os elétrons desta camada, podem variar entre zero e oito.



III. Em uma ligação química, o átomo tende a possuir um número par de elétrons na camada externa e especificamente oito, os quais se dispõem simetricamente nos vértices de um cubo.

IV. As camadas de valência de diferentes átomos são mutuamente interpenetráveis.

V. Os elétrons podem se movimentar com certa facilidade de uma posição para outra na camada de valência. No entanto, existem certas restrições que são determinadas pela própria natureza do átomo, bem como pela natureza de outros combinados a ele.

VI. As forças elétricas entre as partículas que estão muito próximas (como no átomo) não obedecem a lei de Coulumb (DUARTE et al., 2008).

A novidade da teoria de Lewis foi o compartilhamento de dois elétrons para a formação de uma ligação química. Isso só foi possível devido ao conhecimento de que os elétrons emparelhados não se repeliam, conforme previsto pela lei de Coulumb.

Os químicos da época reconheceram a aplicabilidade da teoria de Lewis em muitos compostos. Contrariando a “Teoria do positivo-negativo”, ele propôs que os elétrons não seriam completamente transferidos, mas que ocorreria apenas uma transferência parcial. A teoria de Lewis fornecia explicações para os compostos apolares, para os quais não havia indicações de formação de cargas nos átomos. Além disso, explicava a formação dos compostos polares, nos quais havia certa carga residual. Nesta última, o par de elétrons estaria mais próximo do átomo com maior força de atração, esse ficaria aparentemente negativo e o outro ficaria positivo. Desta forma, a “Teoria do positivo-negativo” é um caso especial da teoria de Lewis, que seria mais geral (BEZERRA; SILVA, 2001).

Antes da teoria de Lewis, os químicos buscavam explicar as combinações químicas sem um claro entendimento de que alguns compostos são iônicos, enquanto que outros são apolares. Lewis argumentou que o critério crucial era a estabilidade inerente do octeto completo de elétrons. Afirmava que os átomos de sódio e cloro alcançavam isso por meio da transferência de elétrons, enquanto que em um di halogênio ( $X_2$ ), cada átomo de X alcançava a estabilidade através do

compartilhamento de elétrons (ESPINOZA, 2004). Apesar de suas limitações, as ideias de Lewis são referência para os químicos até o dia de hoje.

Irving Langmuir (1881-1957) é conhecido por difundir os trabalhos de Kossel e Lewis. Em 1919, introduziu os termos “covalente”, “eletrovalente” e “octeto”.

O compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre dois átomos foi denominado de ligação covalente. Além disso, a teoria de Langmuir previu outro tipo de união, produto da atração entre íons, que chamou de ligação eletrovalente. Considerava que o arranjo mais estável para os elétrons é semelhante ao par no átomo de hélio, seguido pelo octeto, que corresponde à presença de oito elétrons, como se encontra a segunda camada do átomo de neônio (SUBRAMANIAN; FILHO; SALDANHA, 1989).

Langmuir elaborou o modelo do octeto de valência, o qual diz: os átomos em um composto tendem a se arranjar de tal forma que adquiram uma configuração estável, a qual para átomos com número atômico maior que cinco corresponde ao octeto (DUARTE et al., 2008). A partir disso, o termo “octeto” foi sendo empregado com frequência, e muitas vezes, utilizado como sinônimo de estabilidade química.

Até a segunda década do século XX, a teoria de Lewis para a ligação química teve seus fundamentos qualitativos bem estabelecidos, no entanto lhe faltava uma base teórica, que iniciou com os trabalhos de Wolfgang Pauli (1900-1958). Em 1925 foi enunciado o “Princípio da exclusão de Pauli”, o qual estabelecia que dois elétrons, em um átomo não podem ter valores idênticos para os quatro números quânticos. Esse princípio corroborava a teoria de Lewis, prevendo a ligação covalente como um emparelhamento de dois elétrons com mesmo nível de energia, exceto para os spins que seriam opostos ou emparelhados (BEZERRA; SILVA, 2001).

Alguns pontos sobre a formação das ligações químicas ainda permaneciam sem respostas. Por exemplo, as teorias de Lewis e Langmuir não explicavam as energias de formação e o tamanho das ligações das moléculas. Segundo essas, não havia diferença na formação do  $H_2$  e  $F_2$ . No entanto, dados experimentais obtidos mostraram valores muito diferentes<sup>2</sup>. Além disso, essas teorias explicavam a

---

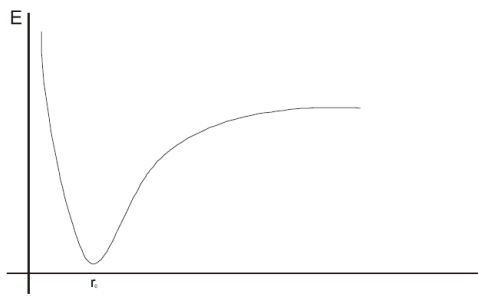
<sup>2</sup> A energia de formação, em  $KJ.mol^{-1}$ , e o tamanho das ligações, em  $\text{Å}$ , para as moléculas  $H_2$  e  $F_2$  são respectivamente:  $436,5 KJ.mol^{-1}$  e  $0,74 \text{ Å}$ ;  $150 KJ.mol^{-1}$  e  $1,42 \text{ Å}$ .

estabilidade química por meio da semelhança entre a configuração eletrônica dos átomos ligantes e a dos gases nobres.

Em 1927, Walter Heitler (1904-1981) e Fritz London (1900-1954) aplicaram a mecânica quântica na Química, com o propósito de calcular a energia de formação da molécula de hidrogênio. Para eles, a ligação H-H ocorria pela sobreposição de dois orbitais  $1s^1$  de cada átomo, sendo que para Lewis, essa ligação se daria simplesmente pelo emparelhamento dos elétrons de cada átomo (GONZÁLEZ, 2007).

Segundo Heitler e London a ligação é formada por dois orbitais atômicos que compartilham uma mesma região do espaço. A Figura 5 ilustra o comportamento energético da aproximação de dois átomos de hidrogênio na formação da molécula  $H_2$ , interpretado por meio de orbitais atômicos (OA).

Figura 5 - Representação da energia (E) frente à distância interatômica (r) para a formação de uma ligação H-H



Fonte: (GONZÁLEZ, 2007, p. 5).

Inicialmente, quando os átomos estão distantes não há interação entre eles e esta energia é tomada como referência. Quando começam a se aproximar, a energia do sistema diminui até chegar a um valor mínimo (maior estabilidade). Essa configuração corresponde a uma sobreposição parcial dos orbitais  $1s$ , resultando na formação da ligação química da molécula  $H_2$ . Por outro lado, se a distância continuar diminuindo, ainda que a sobreposição dos orbitais for maior, a energia do sistema aumentará bruscamente, consequência da repulsão intranuclear.

Conforme salienta Toma (2013), o modelo de Lewis é muito útil na descrição qualitativa das ligações químicas. Porém, quando se pretende discutir questões

energéticas, geométricas ou aspectos da natureza espectroscópica ou magnética, ele se torna ineficiente. Para tal pretensão é necessário utilizar aportes quânticos, que têm como ponto de partida a ligação química por meio de orbitais atômicos.

Os cálculos desenvolvidos por Heitler e London impulsionaram diversos estudos baseados nos OA para a explicação das ligações químicas. Ainda em 1927, paralelamente se desenvolveram duas teorias que fundamentam a atual interpretação sobre a natureza íntima da combinação dos átomos: a Teoria da ligação de Valência (TLV) e a Teoria do Orbital Molecular (TOM).

Linus Carl Pauling (1901-1994) foi um cientista ímpar, vencedor de dois Prêmios Nobel: em 1954, o de Química e em 1962, o da Paz. É considerado o maior químico do século XX. Em relação às suas principais contribuições no entendimento da natureza das ligações químicas destacam-se:

**- conceito de eletronegatividade;**

Definiu a eletronegatividade como a energia de atração dos elétrons em uma ligação covalente. Além disso, postulou que a distribuição da nuvem eletrônica representa a probabilidade de encontrar um elétron em diferentes pontos do espaço e onde há maior probabilidade de formação de ligações químicas (DÍAZ, 2011).

**- Teoria da ligação de Valência (TLV);**

Aplicou a mecânica quântica às moléculas mais complexas que o  $H_2$  e empregou a cristalografia de raios X em estudos sobre a estrutura atômica e molecular, conseguindo explicar as forças relativas das ligações formadas por diferentes átomos, os ângulos e as rotações entre as ligações, a relação entre os números quânticos dos elétrons ligantes e o número e arranjo espacial das ligações, etc... (ESPINOZA, 2004).

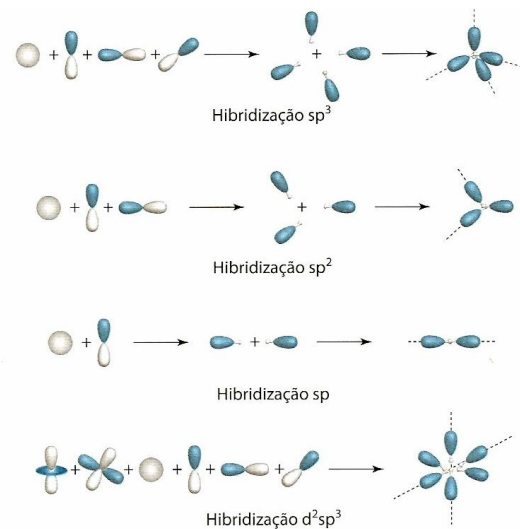
A TLV foca essencialmente nos orbitais de valência, adaptando-os por meio de hibridizações e rearranjos eletrônicos para a formação de ligações químicas. Segundo essa teoria:

Forma-se uma ligação entre dois átomos quando **dois elétrons** com seus **spins emparelhados** são compartilhados por dois orbitais atômicos **sobrepostos**, sendo que um orbital de cada átomo se une para fazer a ligação (BRADY; SENESE, 2011, p. 360, grifo dos autores).

**- conceito de orbitais híbridos;**

A partir da TLV, introduziu o conceito de orbitais híbridos para explicar a equivalência entre as quatro ligações do carbono. A hibridização dos orbitais permite gerar novos orbitais a partir da combinação de orbitais centrados em um mesmo átomo, possuindo orientação mais adequada, ou compatível, com a geometria da molécula (TOMA, 2013).

Figura 6 - Orbitais híbridos e geometrias correspondentes



Fonte: (TOMA, 2013, p. 97).

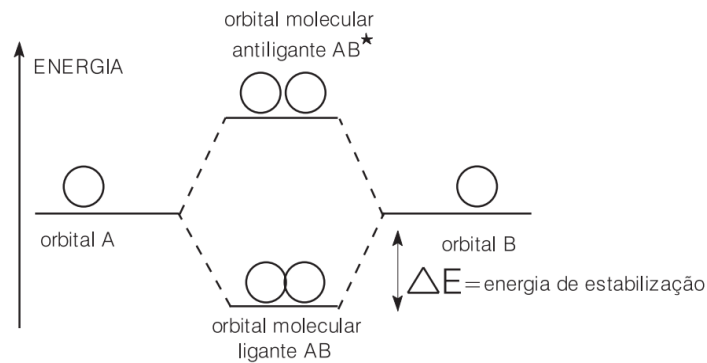
Em 1939, Pauling escreveu o livro “Natureza da ligação química”, no qual apresentou a seguinte definição:

Diz-se que existe uma ligação química entre dois átomos, ou grupos de átomos, no caso das forças que atuam entre eles serem tais que conduzam à formação de um agregado, com estabilidade suficiente para que o produto químico possa ser considerado uma espécie molecular independente (PAULING, 1960 apud ESPINOZA, 2004, p. 105, tradução nossa).

A Teoria do Orbital Molecular (TOM) se desenvolveu concomitante com a TLV e foi estabelecida pelos seguintes cientistas: Friedrich Hund, Robert Mulliken e Leonard Jones. Essa teoria é baseada fundamentalmente nos aportes realizados por Schrödinger em 1926.

Resumidamente, a TOM pode ser representada pela Figura 7. Os orbitais moleculares são resultado da Combinação Linear de Orbitais Atômicos (CLOA). Quando os orbitais atômicos, representados pelas funções de onda  $\Psi_A$  e  $\Psi_B$ , interagem construtivamente ocorre a formação do orbital molecular ligante ( $\Psi_{AB}$ ), que é acompanhada pela diminuição de energia. Quando a interação é destrutiva, origina o orbital molecular antiligante ( $\Psi_{AB}^*$ ). As combinações são tais que  $n$  orbitais atômicos originam  $n$  orbitais moleculares (GONZÁLEZ, 2007).

Figura 7 - Diagrama simplificado da TOM



Fonte: (TOMA, 1997, p. 10).

A formação do orbital molecular não se trata de uma mera superposição de orbitais. A combinação produz um reforço na densidade eletrônica na região que fica entre os núcleos, parecendo uma “cola”, responsável por estabelecer a ligação química. Essas ideias constituem a base da TOM desenvolvida por Mulliken em 1932 (TOMA, 2013). Essa teoria tem proporcionado uma descrição mais detalhada das propriedades espectroscópicas, magnéticas e de ionização das moléculas.

Já na segunda metade do século XX, os estudos sobre a constituição íntima da matéria continuaram. Em específico para as ligações químicas, duas novas teorias foram propostas.

A primeira foi denominada “Teoria de átomos em moléculas” (AIM) e representa um novo modo de visualizar os sistemas moleculares e suas características intrínsecas. Ela se baseia na densidade eletrônica, grandeza observável

experimentalmente, cujos resultados são coerentes com os obtidos em difração de raios-X. As propriedades físicas e químicas de um sistema molecular estão relacionadas, direta ou indiretamente, a sua densidade eletrônica (FIRME, 2007).

Na década de 60, Pierre Hohenberg e Lu Sham, juntamente com Walter Kohn começaram a desenvolver os fundamentos do que atualmente é conhecido como a “Teoria Funcional da densidade”. Essa teoria rendeu a Walter Kohn (1923) e ao matemático Jonh Pople (1925-2004) o Nobel de Química em 1998. A “Teoria Funcional da densidade” revolucionou o entendimento atual da estrutura eletrônica em átomos com consequentes implicações para a teoria das ligações. Atualmente, é empregada para calcular, por exemplo, a energia de ligação das moléculas e a estrutura de bandas dos sólidos na Física (DÍAZ, 2011).

Ao longo desse resgate histórico ficou evidente que as ideias científicas, envolvendo as ligações químicas, evoluíram no sentido de uma maior racionalidade. A construção do conhecimento ocorreu em busca de esclarecimentos a respeito da natureza da matéria e da necessidade de modelos que permitam sua interpretação. As teorias atuais e as que surgirão seguem com o desafio de esclarecer pontos que permanecem obscuros, sempre na busca de uma evolução do espírito científico, rompendo paradigmas e superando obstáculos epistemológicos, fazendo com que a Química avance o conhecimento sobre a estrutura da matéria e combinações químicas.

## 2.2 LIGAÇÕES QUÍMICAS INTERATÔMICAS NO ENSINO MÉDIO: NATUREZA E MODELOS CURRICULARES

O desenvolvimento do conteúdo de ligações químicas no ensino médio tem sido baseado, principalmente, nos postulados de Lewis e nas TLV e TOM. Essas teorias constituem modelos científicos para o estudo das ligações químicas, ou seja, foram testadas e aprovadas pela comunidade científica, que lhes conferiu este status. Na maioria das vezes, os modelos científicos são complexos, sendo necessária sua transposição para uma abordagem condizente com a educação básica. Desta forma, no ensino são utilizados modelos curriculares, que podem ser entendidos como

simplificações dos modelos científicos que estão de acordo com o nível de escolaridade que as teorias são desenvolvidas (GILBERT et al., 2000). Neste contexto, é importante esclarecer os modelos curriculares que consideramos essenciais para a aprendizagem do tópico ligações químicas no nível médio.

A ligação química pode ser entendida como uma interação entre dois átomos ou íons que leva a um estado de equilíbrio, resultado de um abaixamento da energia total do sistema, que é estável por um tempo relativamente longo. Quando as espécies que estão interagindo se aproximam ocorre uma diminuição da energia potencial do sistema. A distância interatômica de equilíbrio é estável porque há duas forças atuando entre as espécies que estão se ligando: a atrativa e a repulsiva. Essas afirmações têm respaldo na Física, conforme descrito a seguir.

A relação entre a força, representada por  $F(r)$ , a energia potencial, representada por  $V(r)$ , e a distância entre as duas espécies ( $r$ ) é representada pela equação:

$$F(r) = - dV(r)/dr \quad (1)$$

Considerando a força atrativa e repulsiva como  $F_A(r)$  e  $F_R(r)$ , e a energia potencial atrativa e repulsiva como  $V_A(r)$  e  $V_R(r)$ , podemos escrever que:

$$F(r) = F_A(r) + F_R(r) \quad (2)$$

$$V(r) = V_A(r) + V_R(r) \quad (3)$$

A parcela da equação da energia potencial de atração tem sinal negativo, visto que o processo libera energia, e a parcela repulsiva tem sinal positivo. A energia potencial de ligação química pode ser representada como:

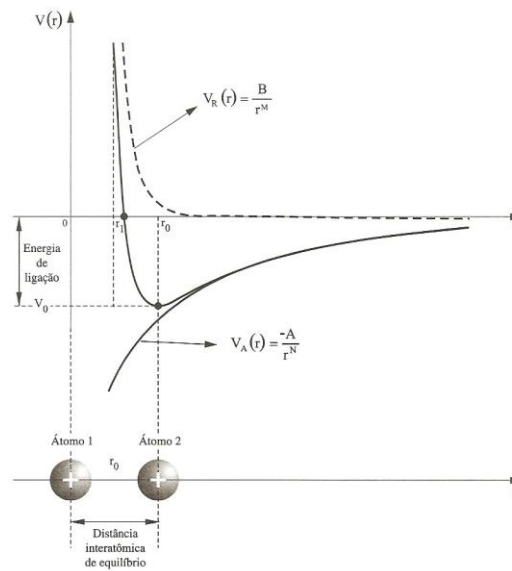
$$V(r) = \frac{A}{r^N} + \frac{B}{r^M} \quad (4)$$

Na equação (4),  $A$ ,  $B$ ,  $N$  e  $M$  são constantes positivas, cujos valores dependem do tipo de ligação química e das espécies.



A Figura 8 apresenta um gráfico com as curvas dos potenciais atrativo  $V_A(r)$  e repulsivo  $V_R(r)$ , bem como do potencial total  $V(r)$  da ligação química.

Figura 8 - Curvas dos potenciais atrativo e repulsivo, bem como do potencial total de ligação química



Fonte: (RODRIGUES, 2012, p. 35).

É possível observar na Figura 8, que a energia potencial apresenta valor mínimo em  $r_0$ , que é a distância interatômica de equilíbrio. Esse valor mínimo do potencial,  $-V_0$ , representa a energia de ligação, ou seja, para afastar as espécies unidas é necessário fornecer  $+V_0$ .

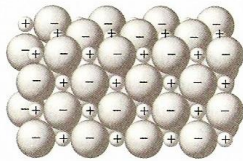
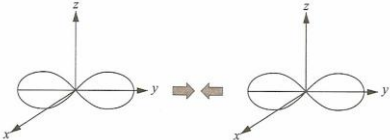
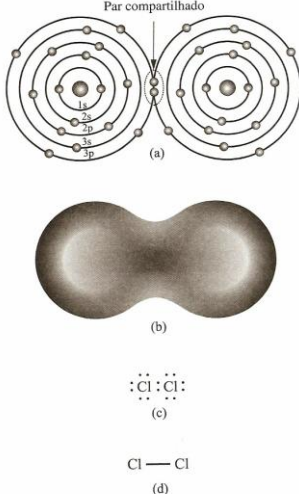
Conforme evidenciado, a interação entre os átomos ou íons é resultante de forças elétricas. Neste contexto, o modelo eletrostático é conveniente para explicar a natureza das ligações químicas no ensino médio. Outras informações que fundamentam a discussão sobre o modelo eletrostático podem ser encontradas nos trabalhos de Mendonça e Justi (2009a), Melo (2002) e Toma (1997).

São propostos três modelos classificatórios para sistematizar as diferentes formas que os átomos e íons se ligam, sendo eles: iônico, covalente e metálico. No entanto, deve ser considerado que estes modelos são aproximações e, por vezes, não fornecem explicações para algumas propriedades físicas e químicas de compostos que se encontram em situações intermediárias.

Consideramos fundamental que o estudante do ensino médio conheça os modelos curriculares, ou seja, as simplificações dos modelos científicos, para cada um dos tipos de ligações químicas. Por fins didáticos, é apresentado no Quadro 2 as principais características dos três tipos de ligações interatômicas e a representação de seus modelos curriculares. O importante é que o estudante do ensino médio consiga relacionar essas características com o comportamento dos materiais do seu cotidiano.

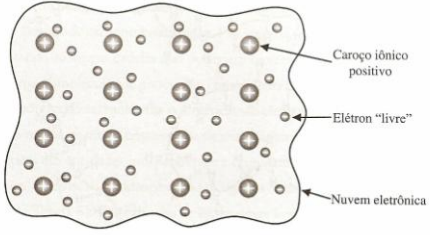
Quadro 2 - Características e modelos curriculares das ligações interatômicas

(continua)

<b>Ligação iônica</b>	
Características	Modelo curricular
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formação de cátion e ânion pela transferência de elétrons;</li> <li>- Elementos com baixa energia de ionização tendem a perder um ou mais elétrons que são transferidos para o elemento com maior afinidade eletrônica;</li> <li>- Íons mantêm-se atraídos pela força eletrostática.</li> <li>- Não direcionais e não discretas.</li> </ul>	 <p>Retículo cristalino do cloreto de sódio</p> <p>Fonte: (BRADY; SENESE, 2011, p. 306).</p>
<b>Ligação covalente</b>	
Características	Modelo curricular
<ul style="list-style-type: none"> <li>- É resultado do compartilhamento de um ou mais pares de elétrons;</li> <li>- Geralmente é direcional, exceto quando envolvem orbitais s:</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>Fonte: (RODRIGUES, 2012, p. 33).</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- É discreta, ou seja, ocorre entre um átomo e seu vizinho;</li> <li>- Átomos mantêm-se unidos pelas forças eletrostáticas formando moléculas;</li> <li>- Dependendo da distribuição da densidade eletrônica entre os átomos pode ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apolar - sem cargas residuais.</li> <li>▪ Polar - com cargas parciais residuais.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Par compartilhado</p>  <p>Representações para a molécula Cl<sub>2</sub>:</p> <p>(a) Visão planetária da ligação</p> <p>(b) Orbital molecular</p> <p>(c) Estrutura de Lewis</p> <p>(d) Traço entre os símbolos dos átomos</p> <p>Fonte: (RODRIGUES, 2012, p. 44).</p>

Quadro 2 - Características e modelos curriculares das ligações interatômicas

(conclusão)

<b>Ligação metálica</b>	
Características	Modelo curricular
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementos metálicos, com baixa energia de ionização, liberam seus elétrons de valência para o meio;</li> <li>- No modelo “mar de elétrons” os sinais positivos podem ser vistos como caroços iônicos (átomos sem os elétrons de valência), que estão coesos por meio dos elétrons deslocalizados (nuvem eletrônica);</li> <li>- Não direcional.</li> </ul>	 <p style="text-align: center;">Mar de elétrons</p> <p style="text-align: center;">Fonte: (RODRIGUES, 2012, p. 54).</p>

Fonte: Autores.

A partir desses aportes teóricos é possível interpretar as propriedades dos materiais e prever seu comportamento em situações diárias. Assim, torna-se importante que o estudante seja capaz de estabelecer conexões entre as dimensões do conhecimento químico. Ao estudar, por exemplo, o sal de cozinha, espera-se que ele relacione características e fatos observáveis do material (nível macroscópico), tais como sólido a temperatura ambiente ou solubilidade em água, com aspectos submicroscópicos, como a formação do retículo cristalino ou solvatação do composto em água. Além disso, que saiba representar o fenômeno utilizando linguagens da Química.

Neste trabalho considera-se que a construção do conhecimento em ligações químicas no nível médio deve partir da associação dos níveis de representação da matéria na interpretação de materiais e fenômenos do cotidiano.

### 2.3 PERFIL EPISTEMOLÓGICO: INTRODUÇÃO ÀS IDEIAS DE BACHELARD

O perfil epistemológico é uma ferramenta de análise proporcionada pela filosofia de Gaston Bachelard (1884-1962). Na área de ensino de Ciências, há vários exemplos de pesquisas que utilizam ou se baseiam nesse recurso para fundamentar suas análises (SILVA; AMARAL, 2013; RAMOS; SCARINCI, 2013; SOUZA FILHO; BOSS; CALUZI, 2010; MORTIMER, 1992, 1997, 2000). Neste trabalho, a intenção com

o perfil epistemológico é avaliar a construção do conhecimento acerca das ligações químicas, durante o período em que foi acompanhado o desenvolvimento do conteúdo em turmas de ensino médio.

Segundo Bachelard (2009) a evolução do conhecimento científico caminha no sentido de uma coerência racional. No caso específico das ligações químicas, isso pôde ser observado no resgate histórico apresentado anteriormente, no qual foi perceptível a constante busca pela razão na interpretação da natureza das combinações atômicas. Bachelard acredita que quando se conhece duas propriedades de um objeto, tenta-se relacioná-las, neste sentido afirma que “um conhecimento mais profundo é sempre acompanhado de uma abundância de razões coordenadas” (BACHELARD, 2009, p. 22).

O pensamento bachelardiano considera que um conceito científico particular encerra uma perspectiva filosófica completa, isto é, pode ser interpretado sob vários pontos de vista. Neste contexto, alega que quando mais próximo do realismo permanecer, a menor ordenação introduz fatores racionais e quando se avança no pensamento científico, o papel das teorias aumenta. O progresso científico é considerado uma hierarquia de conhecimentos.

A coexistência de diferentes perspectivas filosóficas para um determinado conceito revela um pluralismo de ideias científicas, o que levou Bachelard a propor a noção do perfil epistemológico. Essa noção mostra as rupturas históricas na elaboração dos conceitos científicos e vislumbra os obstáculos que foram superados para a construção das teorias atuais (MOREIRA; MASSONI, 2011).

O perfil epistemológico está sempre relacionado a um determinado conceito e é individual. Desta forma, Bachelard (2009) propõe a análise filosófica espectral, que permite determinar as diversas concepções do sujeito analisado acerca do conceito em questão. O autor considera que a evolução do pensamento científico de um indivíduo corresponde ao progresso filosófico do conceito em todo seu desenvolvimento histórico.

Bachelard focaliza no conceito de massa para fazer a discussão sobre a maturação filosófica do pensamento científico. Ele justifica sua escolha, por acreditar que esse conceito apresenta uma perspectiva filosófica completa. São elencados

“cinco níveis sobre os quais se estabelecem filosofias científicas diferentes e, evidentemente, ordenadas e progressivas” (BACHELARD, 2009, p. 23). O Quadro 3 apresenta uma síntese da caracterização, proposta pelo autor, para cada um dos níveis para o conceito de massa.

Quadro 3 - Níveis propostos por Bachelard para o conceito de massa

Nível	Características
Realismo ingênuo	A noção de massa corresponde a uma apreciação quantitativa grosseira e ávida da realidade. A massa só é uma quantidade se for suficientemente grande. Neste estágio o conceito de massa é considerado um conceito obstáculo (conceito animista).
Empirismo claro e positivista	A noção de massa corresponde a um emprego cautelosamente empírico, a uma determinação objetiva e precisa. O conceito está relacionado à utilização da balança. Neste nível o instrumento precede a teoria. Há um predomínio de um pensamento empírico, sólido, claro, positivo e neutro.
Racionalismo clássico da mecânica racional	O conceito de massa define-se em um corpo de noções, com significados, e não apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta. Este nível tem total clareza no século XVII, com a mecânica racional de Newton, o qual define a massa como o cociente da força pela aceleração. A correlação entre as noções de força, massa e aceleração afastou a definição de massa do realismo. A partir dessa correlação é possível deduzir uma das noções a partir das outras duas. O conceito de massa desenvolveu-se no sentido de uma complexidade crescente.
Racionalismo completo (relatividade)	A noção de massa só é simples em primeira aproximação. A Relatividade descobre que a massa, antes definida como independente da velocidade, como absoluta no tempo e no espaço, como base de um sistema de unidades absolutas, é uma função complicada da velocidade. Não se pode definir uma massa em repouso, que constituiria uma característica própria de um objeto. O repouso absoluto não tem significado. Na Física relativista, a massa não é heterogênea à energia.
Racionalismo discursivo	Baseado na Mecânica de Dirac, no final dos cálculos surge uma noção de massa dialetizada. Havia apenas a necessidade de uma massa, no entanto o cálculo fornece duas massas para um só objeto. Uma destas massas resume tudo o que se sabia sobre o assunto pelas quatro filosofias precedentes. A outra massa, dialética à primeira, é negativa. Trata-se de um conceito inadmissível nas quatro filosofias antecedentes. Em suma, a teoria insiste em procurar as realizações de um conceito inteiramente novo, sem raiz na realidade comum.

Fonte: (BACHELARD, 2009).

Pela análise do Quadro 3, percebe-se que Bachelard contemplou a evolução histórica do conceito de massa por meio das zonas filosóficas. Com apenas um conceito, ele demonstrou que as filosofias parciais se debruçam somente sobre um aspecto, esclarecendo uma face do conceito. O autor também ressalta que nem todos

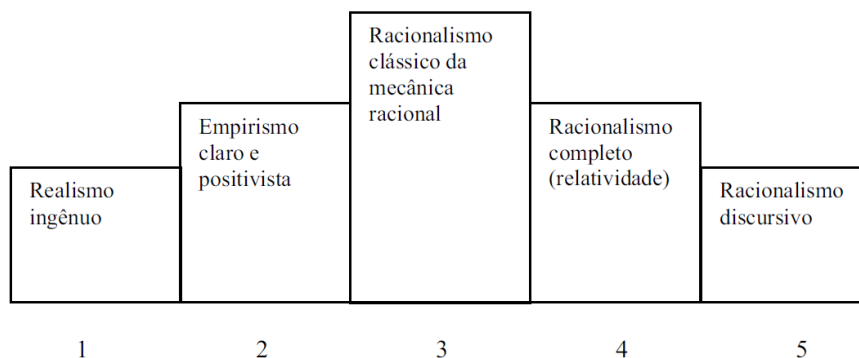
os conceitos científicos atingiram a maturidade filosófica, alguns ainda estão no realismo ou empirismo. Neste sentido, cada conceito possui uma perspectiva filosófica diferente, em sua trajetória, para alcançar a maturidade científica com o racionalismo dialético da Ciência Contemporânea.

Os diversos níveis, fundamentados nas diferentes correntes filosóficas, para um mesmo conceito constituem o pluralismo da cultura científica e a coexistência de um ou mais desses níveis pode ser expresso pelo perfil epistemológico. Nas palavras de Bachelard:

Nestas condições, parece-nos que uma psicologia do espírito científico deveria esboçar aquilo a que chamaremos o **perfil epistemológico** das diversas conceitualizações. Seria através de um tal perfil mental que poderia medir-se a ação psicológica efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento (BACHELARD, 2009, p. 40, grifo do autor).

Bachelard (2009) utiliza a noção do perfil epistemológico para apresentar sua própria dispersão filosófica para o conceito de massa (Figura 9). Suas concepções acerca deste conceito coexistem e se apresentam em diferentes intensidades. No eixo das abscissas expõe as sucessivas filosofias e no eixo das coordenadas representa a intensidade de recorrência. Esta medida é dita pelo autor como grosseira, mas representa a frequência de utilização de determinada noção.

Figura 9 - Perfil epistemológico pessoal de Bachelard para o conceito de massa



Fonte: (BACHELARD, 2009, p. 41).

Ao fazer uma análise de seu próprio perfil, Bachelard reconhece a importância atribuída à noção racionalista de massa, segundo ele, derivada de uma educação matemática clássica e do período em que ministrou aulas de Física. Na maioria das situações, o conceito de massa apresenta uma orientação racionalista clássica, mas por vezes, apresenta aspectos da mecânica relativista ou da mecânica de Dirac. Neste contexto, Bachelard comenta que se não formos cautelosos, as filosofias mais simples dominarão nosso pensamento. Referente a este fato, alerta que em determinadas circunstâncias, as filosofias mais básicas podem constituir um obstáculo ao progresso da cultura (BACHELARD, 2009).

Sobre as outras filosofias: realismo e empirismo, Bachelard refere-se como o “lado pobre da cultura” de seu espectro. Admitindo a grande importância que dá à noção empirista de massa, atribui isso a conduta da balança e retoma a época em que trabalhava com a Química e nos correios, onde pesava as cartas.

Assim como todas as pessoas, Bachelard assume que possui noções realistas mesmo para um conceito tão elaborado como o de massa. Essa noção primitiva é caracterizada por metáforas e pelo senso comum, em que a quantidade mais vaga é apresentada como uma massa precisa.

É válido ressaltar a permanência das ideias filosóficas durante o desenvolvimento conceitual de cada indivíduo. O eixo das abscissas do perfil epistemológico, no qual estão dispostas as filosofias de base, é um eixo verdadeiramente real que corresponde ao desenvolvimento regular dos conhecimentos. A ordem “realismo – empirismo – racionalismo” é genética, ou seja, mostra a própria realidade epistemológica. A ideia é que um conceito pode ser exposto em uma filosofia particular, mas não pode fundar-se em uma única filosofia, o seu progresso implica aspectos variados. Por isso, Bachelard alerta que uma só filosofia é insuficiente para dar conta de um conhecimento preciso (BACHELARD, 2009).

Trazendo essa discussão para o ensino, a ideia do perfil consiste em caracterizar as noções dos estudantes em zonas hierarquizadas. À medida que o conhecimento vai sendo construído, o estudante vai tendo maior capacidade de

explicação, argumentação e entendimento. O novo conhecimento tem sempre maior poder de explicação sobre seu antecessor.

Souza Filho, Boss e Caluzi (2010) relatam que a partir do momento que o estudante adquire uma nova concepção sobre determinado assunto, o conhecimento antigo tem seu status reduzido, porém ambos coexistem em sua mente. O estudante poderá utilizá-los em diferentes contextos na interpretação de problemas que envolvam tal assunto. Os autores ainda afirmam que é na interface entre o conhecimento elementar e o científico que ocorre o processo de aprendizagem.

O progresso do conhecimento científico implica na superação, do que Bachelard denominou, de obstáculos epistemológicos. Tais obstáculos resultam da própria atividade cognitiva, da relação dos indivíduos com o objeto de conhecimento, e são considerados obstáculos na medida em que dificultam a abstração e objetivação dos conceitos (RAMOS; SCARINCI, 2013). Esses devem ser transpostos para a constituição de um pensamento científico coerente.

Dentre os obstáculos epistemológicos, Bachelard (1996) aponta:

- Observação primeira;

Remete às concepções espontâneas, que não se consideram erradas, mas inaceitáveis dentro do contexto científico. Noções advindas da Ciência impregnadas de elementos cotidianos e de uma ingenuidade que acaba por distorcer os conceitos (SUART JÚNIOR, 2010).

- Conhecimento geral;

Busca explicar todos os fenômenos a partir de uma lei ou conceito geral. É na verdade um conhecimento vago, que muitas vezes, ao invés de ajudar acaba por impedir a evolução do pensamento científico.

- Obstáculo verbal;

Associação de uma palavra concreta a uma palavra abstrata. Bachelard (1996) exemplifica esse obstáculo por meio da palavra “esponja”, na qual a sua utilização ficou arraigada à ideia dela enquanto objeto, não permitindo o avanço da ideia abstrata. Essa situação ocorre quando uma palavra é tão suficientemente explicativa, que funciona como uma imagem e pode vir a substituir a explicação. Bachelard (1996), ainda afirma que:



O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem (BACHELARD, 1996, p. 101).

- Substancialismo;

Em parte é oriundo do materialismo promovido pelo uso de imagens ou da atribuição de qualidades aos fenômenos (GOMES; OLIVEIRA, 2007). Bachelard (1996) cita como exemplo, a teoria de Boyle que atribuía qualidades de viscoso, untuoso e tenaz ao fluído elétrico. É como se a eletricidade fosse uma cola ou material.

- Animismo;

Atribuição da intuição de vida aos fenômenos e objetos, os quais são explicados através de analogias com comportamentos humanos. Um exemplo que Bachelard relata é que a ferrugem era considerada uma doença que acometia o ferro no século XVIII.

Neste contexto, para Bachelard (1996, 2009) a evolução do conhecimento se dá pela superação dos obstáculos epistemológicos e, conseqüente, avanço nas zonas do perfil epistemológico.

Na área de ensino de Química, a ideia de perfil epistemológico vem sendo utilizada por Mortimer (1992, 1997, 2000), que propõe o perfil conceitual. O autor se baseia na dialética existente entre a Química Clássica e Moderna para propor uma ruptura no pensamento sobre a estrutura da matéria. A concepção clássica de átomo, vista apenas como matéria, progride para uma noção quântica, na qual é constituído por partículas que têm, além de massa, característica de onda. Para Mortimer, a dualidade da matéria rompe com as noções da mecânica clássica, que anteriormente romperam com as ideias realistas da matéria contínua.

Portanto, a ideia do perfil conceitual é caracterizar as ideias dos estudantes também em zonas, com o propósito de acompanhar a evolução conceitual do aluno e não substituí-las. Outros conceitos, tais como molécula e estrutura molecular (MORTIMER, 1997), substância (SILVA; AMARAL, 2013) e calor (ARAÚJO, 2014) também foram alvos de pesquisas que se fundamentaram no perfil conceitual.

Na presente tese, optou-se por utilizar o termo perfil epistemológico, pois se consideram os pressupostos de Bachelard (2009) para a análise dos dados no que se refere à evolução do conhecimento científico acerca das ligações químicas. Além disso, não se debruçou com extensa profundidade em aspectos ontológicos conforme sugere Mortimer (1992, 1997).

## CAPÍTULO 3

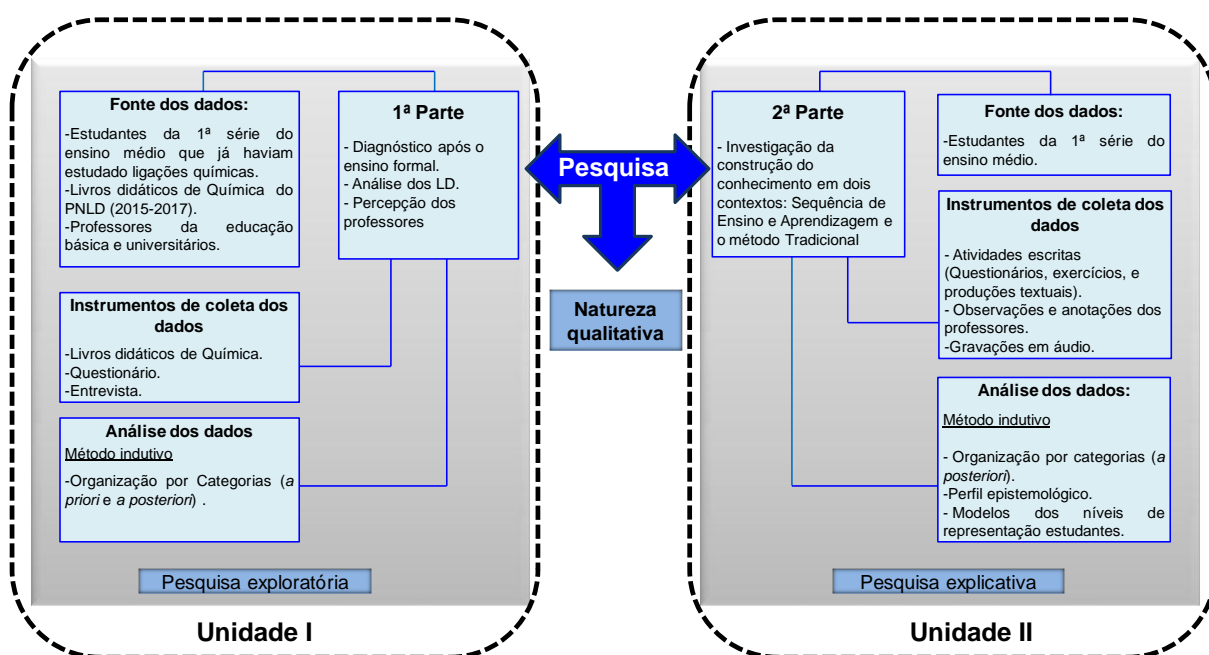
### DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Este capítulo inicia com a apresentação da metodologia da pesquisa, em que são expostas algumas características gerais da investigação. A seguir são apresentadas as duas unidades que compõem este estudo.

#### 3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa foi sistematizada em duas partes. Inicialmente foi realizado um diagnóstico do tratamento dado às ligações químicas no ensino médio e, posteriormente, foi investigada a construção do conhecimento desse tópico pelos estudantes. No esquema apresentado na Figura 10, estão destacadas as partes e natureza da pesquisa, bem como as fontes, os instrumentos de coleta e o método de análise dos dados.

Figura 10 - Desenho da pesquisa



Fonte: Autores.

As duas partes da pesquisa serão apresentadas neste trabalho na forma de unidades. A unidade I, *Ligações químicas no ensino médio*, corresponde ao conjunto de três investigações feitas com o objetivo de detectar como o conteúdo em pauta está sendo desenvolvido nesse nível. Na unidade II, *A construção do conhecimento em ligações químicas no ensino médio*, corresponde à investigação realizada em dois contextos metodológicos de ensino: Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) e o Tradicional.

A presente pesquisa é de natureza predominantemente qualitativa. Algumas características desse tipo de abordagem contempladas neste estudo são:

- Ambiente natural como fonte direta dos dados (LÜDKE; ANDRÉ, 1986);

Tanto na primeira quanto na segunda parte da pesquisa, as informações foram obtidas em seu contexto. Os dados foram coletados diretamente em: ambientes reais de sala de aula, livros didáticos, entrevistas realizadas diretamente com professores do ensino médio e superior.

- Grande flexibilidade e adaptabilidade (GÜNTHER, 2006);

Estas duas características são evidenciadas no caminho metodológico da presente pesquisa, visto que os resultados obtidos na primeira parte direcionaram as atividades desenvolvidas na segunda parte. Além disso, foi utilizada uma variedade de instrumentos e procedimentos, conforme ressalta Günther (2006) cada problema constitui objeto de uma pesquisa específica para qual são necessários instrumentos e procedimentos específicos.

- Os dados coletados são predominantemente descritivos (LÜDKE; ANDRÉ, 1986);

Ao longo do trabalho foram utilizados múltiplos instrumentos (atividades escritas, tais como questionários e exercícios, além de entrevistas, observações e anotações dos professores). Esses instrumentos valorizaram a subjetividade dos sujeitos, pois expressaram suas ideias, crenças e valores.

- A análise dos dados tende a seguir um processo indutivo (LÜDKE; ANDRÉ, 1986; BOGDAN; BIKLEN, 1982);

Os resultados emergiram e se consolidaram a partir do tratamento dos dados, a preocupação não foi em confirmar ou refutar hipóteses. Bogdan e Biklen

(1982) comentam que neste tipo de abordagem, não se busca apenas montar o quebra-cabeças, mas sim examinar as partes. Neste contexto, surge a importância da análise de questões relevantes que se colocam ao longo do processo.

Quanto à classificação da pesquisa em relação aos objetivos, ela se enquadra como exploratória e explicativa. Alguns autores (GIL, 2010; GONSALVES, 2011) destacam como características do estudo exploratório a busca pelo esclarecimento de ideias, proporcionando maior familiaridade com o problema, com vistas a oferecer uma visão panorâmica.

A pesquisa exploratória visa uma primeira aproximação com um determinado fenômeno, que geralmente é pouco explorado, sendo considerada uma “pesquisa de base”, pois oferece informações que permitem o aprofundamento do estudo. Gil (2010) alega que

Pode-se afirmar que a maioria das pesquisas realizadas com propósitos acadêmicos, pelo menos num primeiro momento, assume o caráter de pesquisa exploratória, pois neste momento é pouco provável que o pesquisador tenha uma definição clara do que irá investigar (GIL, 2010, p. 27).

Esta afirmação vai ao encontro da metodologia executada, visto que os resultados obtidos na primeira parte orientaram as ações propostas no restante da pesquisa.

As pesquisas explicativas preocupam-se em identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência e desenvolvimento de um determinado fenômeno (GONSALVES, 2011). Segundo Andrade (2002) é um tipo de pesquisa mais complexa, pois, além de registrar, analisar, classificar e interpretar o fenômeno procura identificar seus fatores determinantes.

Durante o desenvolvimento da presente pesquisa, buscou-se conhecer as causas das dificuldades dos estudantes na compreensão de tópicos relacionados às ligações químicas. Acredita-se que conhecendo a origem dos problemas, pode-se intervir no sentido de evitar a geração de ideias alternativas ao conhecimento científico.

O objetivo da primeira parte da pesquisa foi conhecer os possíveis problemas conceituais recorrentes do desenvolvimento das ligações químicas no ensino médio. Posteriormente, na segunda parte da pesquisa, o propósito foi investigar a construção do conhecimento pelos estudantes a partir da utilização de modelos teóricos condizentes com os curriculares para evitar a geração de concepções alternativas relatadas pela literatura e encontradas na primeira parte. Além disso, buscou-se identificar os fatores que influenciam na aprendizagem dos estudantes e fornecer possíveis explicações de como ocorre a construção do conhecimento em ligações químicas.

## **UNIDADE I - LIGAÇÕES QUÍMICAS NO ENSINO MÉDIO**

Nesta unidade será apresentado o percurso metodológico, bem como os resultados e as discussões de cada investigação da primeira parte da pesquisa. A unidade I é constituída por três investigações, são elas:

- Concepções de estudantes sobre ligações químicas após o estudo formal;
- Abordagem das ligações químicas nos livros didáticos;
- Percepção dos professores dos níveis médio e superior sobre o ensino de ligações químicas.

### **I.1 CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS APÓS O ENSINO FORMAL**

O propósito desta investigação é identificar os possíveis problemas conceituais decorrentes do estudo do conteúdo de ligações químicas no nível médio. Fernandez e Marcondes (2006, p. 20), sobre esse aspecto destacam que:

- Mesmo após uma educação formal em Química, os estudantes apresentam falhas na compreensão dos conceitos químicos e não conseguem fazer relações importantes.
- O tema ligação química, por ser abstrato, longe das experiências dos alunos, tem, conseqüentemente, grande potencial para gerar concepções equivocadas por parte dos estudantes (FERNANDEZ; MARCONDES, 2006, p. 20).

Levando em consideração o exposto, elaborou-se um instrumento investigativo que foi aplicado a estudantes da 1ª série do ensino médio, após a abordagem das ligações químicas em sala de aula.

### **I.1.1 Percurso metodológico**

O instrumento investigativo foi aplicado a 124 estudantes da 1ª série do ensino médio de duas escolas públicas e uma privada da região de Santa Maria, RS, totalizando cinco turmas participantes. A escolha das turmas foi aleatória e a única condição proposta foi que os estudantes já tivessem estudado o tópico de ligações químicas em sala de aula. A aplicação do instrumento ocorreu no segundo semestre do ano de 2013, o que favoreceu o cumprimento desse requisito, pois geralmente, o conteúdo de ligações químicas é desenvolvido no primeiro semestre do ano letivo.

Os sujeitos estavam matriculados nos turnos da manhã e tarde. A maioria deles estava com idade regular para a 1ª série do ensino médio, com faixa etária entre 14 e 21 anos, sendo a idade média 15,08 anos. O instrumento foi aplicado pelos professores titulares durante os períodos da disciplina de Química das turmas e durou aproximadamente 50 minutos.

O conhecimento químico referente às ligações químicas é constituído por um sistema conceitual amplo. A relação entre estes conceitos atribui significados e permite o entendimento do tópico em um nível maior de complexidade.

Para a elaboração do instrumento investigativo, considerou-se a área conceitual proposta por De Posada (1999), que elenca os conceitos mais importantes para o estudo das ligações químicas no nível médio (Quadro 4). Além desses conceitos, é fundamental o entendimento sistemático da tabela periódica; das propriedades periódicas dos elementos químicos, como: afinidade eletrônica, energia de ionização, eletronegatividade e raio atômico; do caráter iônico das ligações; e dos conceitos de orbital atômico e molecular, que estão destacados em vermelho, conforme apresentado no Quadro 4.

#### Quadro 4 - Área conceitual

1. Concepção atômica da matéria
2. Tabela periódica
3. Conceito de átomo, íon e/ou molécula em cada caso
4. Propriedades periódicas: energia da ionização e afinidade eletrônica, raio atômico e eletronegatividade
5. Estabilidade/instabilidade dos átomos, íons e/ou moléculas
6. Natureza da ligação covalente apolar e/ou polar
7. Estrutura de certas moléculas
8. Conceito de orbital atômico e molecular
9. Estrutura interna dos gases
10. Estrutura interna de um composto cristalino
11. Estrutura interna de um metal
12. Relação entre ligação química e tipo de estrutura interna
13. Relação entre fórmula química e estrutura interna
14. Força entre íons em sólidos iônicos
15. Estabilidade das redes metálicas
16. Caráter iônico das ligações
17. Forças intermoleculares em compostos com ligação covalente polar
18. Forças intermoleculares em compostos com ligação covalente apolar

Fonte: Adaptado de De Posada (1999, p. 229, tradução nossa).

Com os conceitos acrescentados, a lista totaliza 18 itens necessários ao sistema conceitual das ligações químicas. A respeito dos tópicos adicionados à área conceitual, cabem as seguintes justificativas:

- Por meio da interpretação da **tabela periódica** são retiradas informações para o estabelecimento das ligações químicas, como elétrons da camada de valência e período em que se encontram os elementos dos átomos participantes da ligação.

- As **propriedades periódicas** são fundamentais, por exemplo, para o entendimento da formação dos íons. A **energia de ionização** e **afinidade eletrônica** constituem conceitos básicos para a percepção da formação de cátions e ânions levando em consideração aspectos termodinâmicos.

- O conceito de **eletronegatividade** proporciona o entendimento da polarização das moléculas. Além de permitir a previsão do **caráter iônico** de uma ligação, aspecto relevante para a compreensão do tipo predominante de uma ligação. Esse tipo de interpretação evita a utilização de regras que frisam classificações rígidas para prever as diferentes ligações químicas, as quais possuem muitas exceções. Por exemplo, o cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ), que apesar de ser sólido e constituído por metal e não metal, apresenta baixos pontos de fusão e ebulição



quando comparado a outros sais de cloreto. Tal observação se deve ao caráter covalente de suas ligações.

- A principal contribuição da Física Quântica para o estudo das ligações químicas é o conceito de **orbital**. Enunciado a partir da resolução da equação de Schrödinger, esse modelo considera que o compartilhamento eletrônico se dá por meio da combinação dos orbitais atômicos que estão interagindo, sendo que o resultado de cada interpenetração é a formação de dois novos orbitais denominados **orbitais moleculares**. Esses modelos são importantes quando se pretende discutir em termos energéticos a formação das ligações químicas.

Para a investigação dos tópicos mais problemáticos de ligações químicas, o instrumento investigativo foi estruturado em quatro eixos: estabilidade química, tipos de ligações químicas, representações químicas e propriedades dos compostos. O instrumento foi elaborado com base nas ideias de Taber (2000) e De Posada (1999) e pode ser consultado no Apêndice A. Retomando a área conceitual das ligações químicas (Quadro 4), a Tabela 1 apresenta os itens contemplados em cada questão do instrumento.

Tabela 1 - Relação entre itens da área conceitual e questões

Questões	Itens	Eixos
1 - 3	1, 2, 3, 4 e 5	Estabilidade
4	I	1, 2, 3, 4, 10, 12 e 13
	II	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13 e 18
	III	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13 e 17
	IV	1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 14 e 15
5	I	6, 10 e 11
	II	3, 4, 7, 10, 14
	III	1, 2, 3, 4, 12, 13 e 16
	IV	3, 6 e 7
	V	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8

Fonte: Autores.

As questões enfocaram eixos diferentes, que relacionavam vários conceitos. Por intermédio da Tabela 1, observa-se que todos os itens da área conceitual foram contemplados nas cinco questões do instrumento investigativo.

Para responderem as três primeiras questões, os estudantes deveriam interpretar um diagrama que representava as seguintes espécies químicas:  $\text{Na}^+$  (cátion monovalente de sódio),  $\text{Na}$  (átomo de sódio) e  $\text{Na}^{-7}$  (ânion heptavalente de sódio). Não foi fornecido contexto nessas questões, apenas apresentada a estrutura das três espécies químicas e as alternativas que comparavam suas estabilidades. Isso foi proposital, pois se tentou não interferir no pensamento dos estudantes com contextos, já que o objetivo foi verificar o entendimento sobre o conceito em pauta. Após a decisão pela espécie mais estável, eles deveriam explicar o raciocínio realizado ao optar por uma determinada alternativa. Por meio das justificativas apresentadas conseguiu-se identificar os critérios, bem como os fundamentos teóricos que embasaram suas decisões.

A quarta questão, em um primeiro momento, solicitou aos estudantes que classificassem as substâncias quanto à ligação predominante. Esse tipo de exercício é comum no ensino médio, exige apenas o reconhecimento das três ligações químicas através da aplicação de regras que possibilitam a previsão. Em um segundo momento, foi solicitado que representassem dez unidades estruturais de cada uma das substâncias propostas. Essa parte da atividade demanda certo conhecimento sobre as diferenças estruturais de retículos cristalinos e moléculas. Com isso, pretende-se conhecer os modelos que os estudantes utilizam para a representação dos compostos iônicos, moleculares e metálicos.

Na última questão do instrumento investigativo, os estudantes deveriam avaliar cinco afirmativas como verdadeiras ou falsas, tendo que justificar sua escolha. As afirmativas se referem à natureza das ligações químicas, propriedades dos compostos iônicos e moleculares, previsão de fórmulas químicas e estabilidade. Com essa questão, espera-se verificar se os estudantes estabelecem relações entre as propriedades físicas e químicas dos compostos com a natureza da ligação química.

### **I.1.2 Análise dos dados**

As respostas foram analisadas considerando três dimensões: estabilidade química, reconhecimento dos tipos de ligações químicas e natureza das ligações.

Inicialmente, os dados foram tratados em uma perspectiva quantitativa com o propósito de obter um diagnóstico geral das ideias dos estudantes. Neste momento, foi utilizado como suporte o programa da Microsoft Excel® que possibilitou a construção de planilhas e aplicação de filtros.

Após, foi feita uma análise qualitativa das justificativas e representações apresentadas, a fim de categorizá-las. As categorias emergidas foram específicas para cada uma das dimensões. O processo de análise ocorreu da seguinte forma:

- as repostas para as questões de 1 a 3 e para o item V da questão 5 foram avaliadas no eixo **estabilidade química**;

- parte do desenvolvimento da questão 4, que solicitou a classificação do tipo de ligação predominante na substância, foi analisada na dimensão **reconhecimento dos tipos de ligações químicas**;

- a parte restante da questão 4, referente às representações químicas, e os itens de I a IV da questão 5 foram considerados para análise na dimensão **natureza das ligações químicas**.

#### *1.1.2.1 Dimensão Estabilidade química*

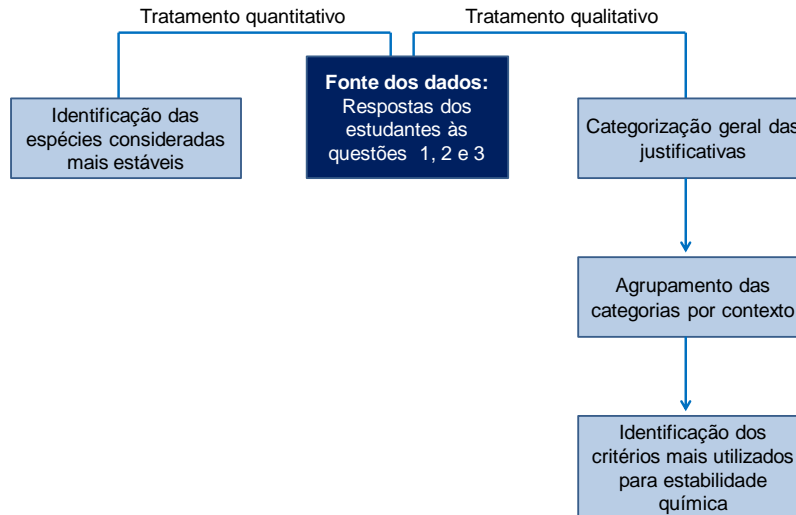
A investigação sobre o que pensam os estudantes do ensino médio a respeito da estabilidade química foi realizada em dois momentos: comparação da estabilidade de espécies neutra e carregadas, e verificação da relação entre estabilidade e regra do octeto.

As três primeiras questões do instrumento investigativo (Apêndice A) forneceram os dados para a comparação da estabilidade entre a espécie neutra, o cátion e o ânion do elemento químico sódio. Nessa primeira análise buscou-se detectar nas justificativas dos estudantes, os critérios utilizados para analisar a estabilidade química.

A análise não centrou no percentual de estudantes que optou pela alternativa considerada mais coerente, pois para isso deveriam ter sido fornecidas mais informações e contextos para a análise das questões. O propósito foi levantar as concepções espontâneas, aquelas que vêm naturalmente quando algum assunto é

abordado. A Figura 11 apresenta as etapas para a identificação das espécies consideradas mais estáveis (tratamento quantitativo) e dos critérios utilizados pelos estudantes para estabilidade química (tratamento qualitativo).

Figura 11 - Processo de tratamento dos dados da dimensão estabilidade química



Fonte: Autores.

A quantificação dos dados possibilitou a identificação da espécie considerada mais estável pelos estudantes. A seguir, as justificativas apresentadas foram categorizadas a fim de detectar as razões que fundamentaram a opção por determinada espécie. Após a emergência das categorias, elas foram agrupadas por contexto analisado, ou seja, cátion e átomo; átomo e ânion; cátion e ânion. Essa análise foi importante para conhecer os critérios dos estudantes em contextos específicos e se esses permanecem constantes em todas as situações propostas. Por fim, por meio das categorias foram identificados os critérios mais utilizados pelos estudantes para estabilidade química.

O item V, da quinta questão do instrumento, afirma: “Nos compostos  $PCl_3$  e  $PCl_5$ , o átomo de fósforo possui 8 elétrons em sua camada de valência, o que garante sua estabilidade”. Essa afirmação procurou confrontar a ideia de que a estabilidade química é uma consequência do octeto de elétrons da camada de valência, já que o

pentacloro de fósforo possui dez elétrons em sua última camada e é um composto estável.

Em um primeiro momento da análise, foi quantificado o número de estudantes que considerou a afirmativa verdadeira ou falsa. Após, suas justificativas foram categorizadas procurando encontrar indícios que evidenciem o abandono da teoria do octeto para a explicação da estabilidade química.

#### *1.1.2.2 Dimensão Reconhecimento dos tipos de ligações químicas*

O reconhecimento do tipo de ligação química predominante em um material é fundamental para o estudo sistemático de suas propriedades. Na primeira parte da quarta questão do instrumento, os estudantes tiveram que denominar o tipo de atração predominante em cada uma das quatro substâncias propostas. A análise desta dimensão ocorreu por meio de um levantamento do número de estudantes que reconheceu o tipo de ligação predominante em cada substância.

#### *1.1.2.3 Dimensão Natureza das ligações químicas*

As representações dos estudantes para a segunda parte da questão 4, bem como os itens de I a IV da questão 5 foram foco de análise desta dimensão. Em relação às representações, em um primeiro momento, foi detectado o número de estudantes que não realizou essa etapa da questão e o tipo de ligação química menos representado.

Os modelos representativos dos estudantes forneceram informações a respeito de seus pensamentos sobre as interações que ocorrem na matéria. As representações apresentadas para as substâncias foram agrupadas em quatro categorias que emergiram deste processo, sendo elas:

- Interações eletrostáticas entre as unidades estruturais da substância (IE);
- Interações entre as unidades estruturais da substância (I);
- Sem interações entre as unidades estruturais da substância (SI);
- Outros.

A descrição dessas categorias é feita no item apresentação e discussão dos resultados.

Sobre as afirmações I, II, III e IV da questão 5 foi realizado um levantamento do número de estudantes que considerou verdadeira ou falsa cada afirmação. Após, buscou-se no desenvolvimento das justificativas os argumentos utilizados durante a avaliação da sentença. Dessa análise, emergiram categorias para cada uma das quatro afirmativas.

### **I.1.3 Apresentação e discussão dos resultados**

A apresentação e discussão dos resultados estão esquematizadas nas dimensões: estabilidade química, reconhecimento dos tipos de ligações químicas e natureza das ligações. A identidade dos participantes será preservada, portanto para cada estudante foi designado um número aleatório (de 1 a 124) e uma letra (a, b ou c) que foi atribuída para diferenciar as três escolas participantes.

#### *I.1.3.1 Estabilidade química*

A Tabela 2 expõe uma visão geral das espécies consideradas mais e menos estáveis pelos estudantes, bem como as categorias que emergiram da análise das justificativas.

As afirmativas de I a III são referentes às alternativas da questão 1, sendo que apenas um estudante (0,81%) não resolveu a questão. De maneira semelhante, as afirmativas de IV a VI e de VII a IX correspondem respectivamente às questões 2 e 3, as quais não foram respondidas por quatro (3,23%) e seis (4,84%) estudantes.

Tabela 2 - Quantificação e categorização das respostas referente à estabilidade

Afirmiação	Frequência (Porcentagem)	Justificativas (Frequência)	
I. A mais estável que B.	79 (63,71%)	- Regra do octeto (38) - Formação de cátion (22) - Número de elétrons (7)	- Outros (6) Neutro (1) Camada de valência (3) Justificativa evasiva (1) *Não justificaram (7)
II. A e B são igualmente estáveis.	8 (6,45%)	- Número de elétrons (3) - Número de nêutrons (1) - Número de prótons (1)	- Estruturas parecidas (1) *Não Justificaram (2)
III. A é menos estável que B.	36 (29,03%)	- Número de elétrons (12) - Formação de cátion (5) - Neutro (4)	- Outros (5) Número de prótons (1) Número de camadas (1) Átomo inteiro (1) Justificativa evasiva (2) *Não Justificaram (10)
IV. B é mais estável que C.	62 (50,00%)	- C (Na <sup>-7</sup> ) não existe (21) - Neutro (7) - Número de elétrons (5) - Transferência de elétrons (4) - Regra do Octeto (2)	- Outros (7) Átomo inteiro (1) Justificativa evasiva (6) *Não justificaram (16)
V. B e C são igualmente estáveis.	7 (5,65%)	- Regra do octeto (1) - Estruturas parecidas (1)	- Justificativa evasiva (1) *Não justificaram (4)
VI. B é menos estável que C.	51 (41,13%)	- Regra do octeto (17) - Número de elétrons (16) - Neutro (2)	- Outros (5) Transferência de elétrons (1) Distribuição de elétrons (1) Formação de íons (1) Justificativa evasiva (2) *Não justificaram (11)
VII. C é mais estável que A.	37 (29,84%)	- Número de elétrons (10) - Regra do octeto (6) - Transferência de elétrons (4)	- Outros (8) Distribuição de elétrons (1) Número de camadas (1) Formação de íons (2) Número de prótons (1) Justificativa evasiva (3) *Não justificaram (9)
VIII. C e A são igualmente estáveis.	20 (16,13%)	- Regra do octeto (15) *Não justificaram (2)	- Outros (3) Formação de íons (1) Distribuição de elétrons (1) Justificativa evasiva (1)
IX. C é menos estável que A.	61 (49,19%)	- C (Na <sup>-7</sup> ) não existe (18) - Transferência de elétrons (13) - Regra de octeto (4) - Número de elétrons (3)	- Outros (7) Formação de íons (2) Número de prótons (1) Número de nêutrons (1) Justificativa evasiva (3) *Não justificaram (16)

Fonte: Autores.

Em relação à comparação das estabilidades do cátion e do átomo de sódio, a maior parte dos estudantes (aproximadamente 64%) respondeu que o cátion é a espécie mais estável. As justificativas mais frequentes foram do tipo:

E1a: *“Enquanto o átomo original de sódio possui 1 elétron na sua camada de valência e precisa doar 1 para se estabilizar, o cátion  $\text{Na}^+$ , doou seu um elétron que estava sobrando na camada de valência e se estabilizou (com 8)”*.

E108c: *“Por que a camada de valência do A (cátion) contém 8 elétrons, tornando-o mais estável”*.

Observa-se que os estudantes atribuíram à regra do octeto uma propriedade estabilizante, utilizando-a como critério para sua opção pela espécie mais estável. Outro tipo de justificativa bastante utilizada foi:

E66a: *“A (cátion) é mais estável que B (átomo), porque o Na precisa ser um cátion para ficar estável, pois assim ele perde um elétron”*.

E75b: *“Porque o átomo que doou elétrons é mais estável”*.

Ao que parece o argumento utilizado foi que a perda de um elétron é responsável por tornar a espécie mais estável. Desta forma, os dois critérios mais utilizados foram regra do octeto (38 estudantes) e formação de cátion (22 estudantes).

Alguns estudantes (cerca de 6%) pensaram que o cátion e o átomo são igualmente estáveis. Uma justificativa foi *“por terem o mesmo número de prótons”* (E63a). Como o estudante acredita na igualdade da estabilidade entre as espécies, ele se fundamentou na quantidade de partículas positivas que continuou a mesma na representação das duas estruturas.

Outros (29%) responderam que o átomo é mais estável. Grande parte dos estudantes utilizou como critério, em suas justificativas, o número de elétrons, passando a ideia de que a espécie que tem maior quantidade de partículas negativas é a mais estável, conforme os seguintes trechos:

E44a: *“Porque o  $\text{Na}^+$  tem menor quantidade de elétrons, o que pode ser não estável”*.

E53a: *“Porque o A (cátion) tem 10 elétrons e precisa de 1 elétron para ficar estável, enquanto o B (átomo) tá com 11 elétrons e já está estável(sic)”*.

Um tipo de justificativa categorizada como neutro, possibilitou a percepção da confusão conceitual entre estabilidade e neutralidade:



E58a: *“Pois A tem  $p^+ = 11$  e  $e^- = 10$ , é cátion. E B é neutro, logo, tem  $p^+ = e^-$ , ou seja,  $p^+$  é 11 e  $e^-$  é 11”*.<sup>3</sup>

E84b: *“Porque B não recebe ou doa elétrons, então ele é estável, diferente de A que doa”*.

Houve certo equilíbrio na escolha dos estudantes quando compararam o átomo de sódio e o ânion heptavalente. Exatamente 50% responderam que o átomo é mais estável, contra cerca de 41% que optaram pelo ânion. A única diferença entre as duas espécies é o octeto completo, logo uma constatação que pode ser feita é que pelo menos metade dos estudantes, que considerou o átomo mais estável, não utiliza apenas a regra do octeto como padrão para determinar a estabilidade. Esses estudantes apresentaram justificativas relacionadas ao fato do ânion não existir (21 estudantes), à neutralidade do átomo (6) e ao número de elétrons (5). A seguir um exemplo de cada justificativa:

E80b: *“Porque não tem como o  $Na^{-7}$  receber muitos elétrons, ele não existe”*.

E52a: *“Pois B está em seu estado neutro, está estável. E C tem  $-7$ ”*.

E30a: *“Porque B tem 11 elétrons, o que é menos que 18 elétrons que C. Então, acho que o B é mais estável”*.

Dentre os que responderam que o ânion é mais estável que o átomo no seu estado fundamental, 17 estudantes se basearam na regra do octeto e 16 no número de elétrons, fazendo menção a ideia de quem tem mais elétrons na última camada é mais estável. Algumas justificativas que se encaixaram nestas categorias são:

E1a: *“O ânion  $Na^{-7}$  ganhou 7 elétrons para se estabilizar e ficou com 8 elétrons na camada de valência, enquanto o átomo normal ficava instável com 1 elétron”*.

E66a: *“B é menos estável que C, porque o átomo de sódio também pode estabilizar com o ganho de 7 elétrons”*.

E38a: *“O C está com elétrons de sobra, por isso ele é mais estável”*.

A comparação entre os dois íons,  $Na^+$  e  $Na^{-7}$ , colocou os estudantes em uma situação diferente das demais, pois as duas espécies possuem seus octetos completos. Essa condição aumentou o número de estudantes que optou pela igualdade de estabilidade entre as espécies. Nas outras questões, esta alternativa não ultrapassou

---

<sup>3</sup> Os símbolos  $p^+$  e  $e^-$  utilizados pelo estudante referem-se a prótons e elétrons.

os 7%, sendo que agora ficou com que 16%. Dos 20 estudantes, que correspondem a esta porcentagem, 15 utilizaram como critério a regra do octeto.

Aproximadamente 50% dos estudantes sugeriram o cátion como mais estável e grande parte das suas justificativas foi agrupada nas categorias: ânion não existe (18) e transferência de elétrons (13). Nesta última categoria, foram classificados os estudantes que relacionaram a estabilidade com a perda ou ganho de elétrons.

E84b: *“Porque o A está doando um elétron e o C está recebendo sete elétrons”*.

E109c: *“C nunca será, pois metais tendem a doar elétrons e não receber”*.

Dentre os que optaram pelo ânion como mais estável (cerca de 30%), as justificativas se encaixaram em três principais categorias: número de elétrons (10), por exemplo, *“Pois tem mais elétrons na eletrosfera”* (E7a); regra do octeto (6), conforme o trecho *“Pois C tem 8 elétrons na última e penúltima camada”* (E87b); e transferência de elétrons (4), conforme *“C é mais estável que A, pois está ganhando elétrons e A está perdendo elétrons”* (E65a).

Durante a categorização das justificativas, perceberam-se convergências e divergências quanto aos critérios utilizados pelos estudantes em cada questão. Isso significa que muitos estudantes utilizaram mais de um critério para avaliar a estabilidade química e que este se modifica conforme o contexto. Por exemplo, o E12a utilizou critérios distintos para avaliar a estabilidade das espécies em cada questão, sendo que suas justificativas foram classificadas em categorias diferentes: regra do octeto (questão 1), número de elétrons (questão 2) e número de prótons (questão 3). Entretanto, outros utilizaram apenas um critério para analisar a estabilidade, como o E91b que se fundamentou na regra do octeto para justificar todas suas opções.

A fim de facilitar a identificação dos critérios mais utilizados em cada contexto, as categorias foram agrupadas para cada uma das situações propostas, conforme é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Frequência das categorias em cada contexto

<b>Cátion x Átomo</b>	<b>Átomo x Ânion</b>	<b>Cátion x Ânion</b>
Regra do octeto (38)	Número de elétrons (21)	Regra do octeto (25)
Formação de cátion (27)	C (Na <sup>-7</sup> ) não existe (21)	C (Na <sup>-7</sup> ) não existe (18)
Número de elétrons (22)	Regra do octeto (20)	Transferência de e <sup>-</sup> (17)
Neutro (5)	Neutro (9)	Número de elétrons (13)
Outros (12)	Transferência de e <sup>-</sup> (5)	Formação de íons (5)
- Camada de valência (3)	Outros (13)	Outros (13)
- N° de prótons (1)	- Átomo inteiro (1)	- Distribuição de elétrons (2)
- N° de nêutrons (1)	- Estruturas parecidas (1)	- N° de prótons (2)
- N° de camadas (1)	- Distribuição de elétrons (1)	- N° de nêutrons (1)
- Átomo inteiro (1)	- Formação de íons (1)	- N° de camadas (1)
- Estruturas parecidas (1)	- Justificativa evasiva (9)	- Justificativa evasiva (7)
- Justificativa evasiva (3)		
* 20 não justificaram	* 35 não justificaram	* 33 não justificaram

Fonte: Autores.

Pela análise da Tabela 3, percebe-se que na comparação entre o cátion e o átomo, o critério mais utilizado foi a regra do octeto. Grande parte dos estudantes que respondeu que o cátion é mais estável justificou pela presença dos oito elétrons na camada de valência desta espécie.

Já na comparação entre as espécies carregadas, a regra do octeto também teve a maior frequência. Isto ocorreu, principalmente, devido aos estudantes que pensaram que os dois íons são igualmente estáveis, justamente pelo octeto completo das duas espécies.

Como a estrutura química do ânion de sódio não era familiar para os estudantes, muitos tiveram que buscar outros critérios para justificarem sua opção pelo átomo de sódio, que não possui oito elétrons na camada de valência. Apenas neste contexto a regra do octeto não foi o critério mais utilizado, vários estudantes se basearam no número de elétrons e no fato do ânion não existir.

Nesta investigação, o propósito é identificar os critérios utilizados pelos estudantes do ensino médio para justificar a estabilidade química de uma espécie, o que independe do contexto. A partir das análises feitas anteriormente, foi possível mensurar os critérios mais presentes nas justificativas dos 124 sujeitos nos contextos pesquisados (Tabela 4).

Tabela 4 - Critérios utilizados para a estabilidade química

Critérios
Regra do octeto (83)
Número de elétrons (56)
C (Na <sup>-7</sup> ) não existe (39)
Formação de cátion (27)
Transferência de elétrons (22)
Neutro (14)
Formação de íons (6)

Fonte: Autores.

Segundo os resultados encontrados, o critério mais utilizado para justificar a estabilidade de uma espécie química no ensino médio é o octeto de elétrons. Isso corrobora com os resultados de pesquisas, como as de Franco e Ruiz (2006), Fernandez e Marcondes (2006) e Mendonça e Justi (2009b).

Outro fato a ser considerado é que nenhum dos estudantes relacionou a estabilidade química com a energia das espécies. Os critérios elencados demonstram que as justificativas ficaram praticamente restritas à regra do octeto e ao número de elétrons, não considerando a estabilidade em termos energéticos.

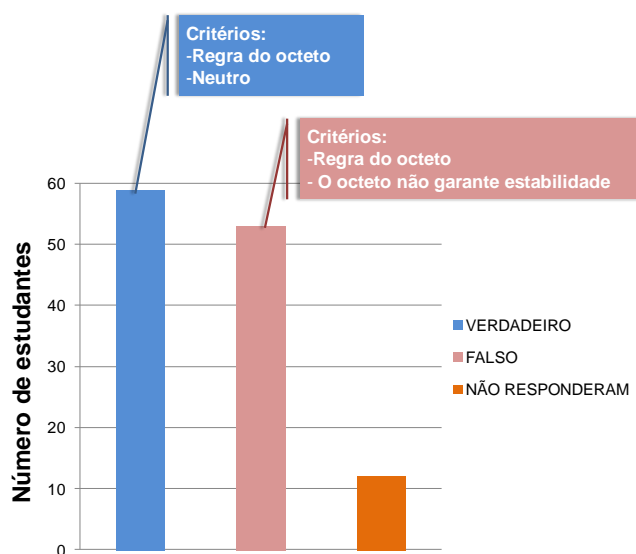
Sobre este aspecto é interessante uma reflexão a respeito do sentido de ensinar ou aprender ligações químicas nestas condições. A razão para o estudo das ligações químicas parte do conceito de estabilidade, que proporciona a percepção de que na natureza, as substâncias se formam porque seus átomos constituintes tendem a um estado energético mais estável, ou seja, de menor energia. Sem esse conceito, básico para a compreensão das forças de atração e repulsão entre os átomos e íons, é muito provável que os estudantes não avancem em seus estudos dentro da Química e nem mesmo compreendam a constituição da matéria.

Mortimer, Mol e Duarte (1994) já haviam constatado a tendência dos estudantes atribuírem a estabilidade das substâncias à regra do octeto. Os autores ainda alertaram para o fato de que essa regra não é facilmente abalada e nem abandonada pelos estudantes.

Com o propósito de verificar a relação entre a estabilidade e a regra do octeto, os estudantes foram solicitados a avaliar a seguinte afirmação: “*Nos compostos  $PCl_3$  e  $PCl_5$ , o átomo de fósforo possui 8 elétrons em sua camada de valência, o que garante*

*sua estabilidade*” (Apêndice A, questão 5.V). Os dois compostos em questão são estáveis, porém no caso do pentacloreto de fósforo a regra do octeto não se aplica. Esperava-se que ao identificar essa contra prova, os estudantes utilizassem outros argumentos para explicar a estabilidade deste composto. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Avaliação da afirmativa V e critérios utilizados



Fonte: Autores.

Aproximadamente 47% dos estudantes (59) avaliaram a alternativa como verdadeira. Este grupo ignorou o fato do fósforo do composto  $\text{PCl}_5$  possuir dez elétrons em sua camada de valência e concordou com a afirmação. Poucos estudantes apresentaram justificativas, ao total 34, o que corresponde aproximadamente 27% da amostra total. Dentre os que assinalaram como verdadeira a afirmativa, apenas 16 justificaram e os critérios utilizados foram a regra do octeto (12) ou a neutralidade dos compostos (4), conforme o E10a: “Correto, para estar estável precisa de 8 elétrons na camada de valência” e o E66a “Verdadeira, pois os dois compostos estão neutros e não como íons”.

53 estudantes (aproximadamente 43%) consideraram falsa a afirmativa e apenas 18 justificaram. Ressalta-se que esses estudantes pelo menos reconheceram que em um dos compostos a regra do octeto não se aplica. No entanto, pela análise

de suas justificativas percebeu-se que alguns (12) consideraram a afirmativa falsa por pensarem que o  $\text{PCl}_5$  não é estável, já que o átomo de fósforo não está com oito elétrons na camada de valência. Essas justificativas foram categorizadas como “regra do octeto” e demonstram a dificuldade que eles apresentam em abandonar a ideia de que essa teoria é responsável pela estabilidade dos compostos, mesmo frente a situações que forneçam contradições, como no caso da afirmativa. Algumas justificativas apresentadas foram:

E50a: *“No  $\text{PCl}_3$  sim tem 8 elétrons, mas no  $\text{PCl}_5$  não... por isso, ele não é estável”.*

E58a: *“O P não possui 8 elétrons, o que não o torna estável”.*

Alguns estudantes (6) conseguiram desvencilhar a regra do octeto da estabilidade química, o que de certa forma representa um avanço. As suas justificativas foram categorizadas como o octeto não garante estabilidade, pois mesmo não atribuindo a estabilidade a essa regra, não apresentaram um critério fundamentado para justificarem sua escolha. Alguns exemplos são:

E7a: *“O fato de possuir 8 elétrons não garante sua estabilidade”.*

E25a: *“Uma das duas substâncias não termina com 8 elétrons, indicando que não é isso que garante a estabilidade”.*

Apesar de poucos estudantes perceberem, por meio das evidências apresentadas, que a estabilidade química não se restringe a aplicação da regra do octeto, este último resultado pode ser um indício de que eles podem interpretar os dados e buscarem critérios mais condizentes com teoria científica para suas respostas.

### 1.1.3.2 Tipos de ligações químicas

O reconhecimento do tipo de ligação química predominante em um material é fundamental para o estudo sistemático de suas propriedades. A Tabela 5 apresenta nos valores entre parênteses, respectivamente, a frequência e porcentagem dos estudantes em relação à classificação quanto ao tipo de ligação predominante nas substâncias propostas. A parte em destaque representa as respostas consideradas corretas.

Tabela 5 - Classificação quanto ao tipo de ligação química

Substância	Ligação predominante	
KCl	Ligação iônica (72; 58,06%)	
	Ligação covalente (15; 12,10%)	Ligação covalente (14; 11,29%)
		Ligação covalente polar (1; 0,81%)
	Ligação metálica (3; 3,42%)	
	Outros (4; 3,23%)	
Não classificaram (30; 24,19%)		
N <sub>2</sub>	Ligação iônica (7; 5,65%)	
	Ligação covalente (65; 52,43%)	Ligação covalente (52; 41,94%)
		Ligação covalente polar (1; 0,81%)
		Ligação covalente apolar (12; 9,68%)
	Ligação metálica (6; 4,84%)	
Outros (5; 4,03%)		
Não classificaram (41; 33,06%)		
HCl	Ligação iônica (20; 16,13%)	
	Ligação covalente (65; 52,43%)	Ligação covalente (59; 47,58%)
		Ligação covalente polar (5; 4,03%)
		Ligação covalente apolar (1; 0,81%)
	Ligação metálica (1; 0,81%)	
Outros (4; 3,23%)		
Não classificaram (34; 27,42%)		
Ca	Ligação iônica (4; 3,23%)	
	Ligação covalente (10; 8,06%)	
	Ligação metálica (49; 39,52%)	
	Outros (12; 9,68%)	
	Não classificaram (49; 39,52%)	

Fonte: Autores.

A maior parte dos estudantes, aproximadamente 58% e 52%, associaram corretamente as substâncias iônicas e moleculares, respectivamente. A dificuldade aumentou na ligação metálica, em que menos de 40% relacionou corretamente este modelo de ligação. Também, foi na substância metálica em que um maior número de estudantes não classificou.

Outros estudos já desenvolvidos (FERREIRA; CAMPOS; FERNANDES, 2013; ACAR; TARHAN, 2008) revelaram que dentre os tipos de ligações químicas, a ligação metálica é a menos assimilada pelos estudantes. Inclusive o trabalho de Carvalho e Justi (2005b) discute a analogia do “mar de elétrons” para explicação da ligação metálica, no qual advertem para o fato de que muitos estudantes do ensino médio não compreendem a estrutura dos metais por meio deste modelo. As autoras enfatizam que eles não reconhecem a relação entre os domínios análogo (mar de

elétrons) e alvo (ligação metálica). Desta forma, se os estudantes não têm um modelo mental para esse tipo de ligação, se torna mais difícil o seu reconhecimento.

### 1.1.3.3 Natureza das ligações químicas

Sobre a representação das unidades estruturais das substâncias químicas, muitos estudantes não desenvolveram esta parte da questão (Tabela 6). Com isso, percebeu-se que as representações das estruturas químicas e as interações que ocorrem entre elas constituem pontos fracos do ensino de ligações químicas. Em específico, destaca-se o modelo representativo da substância metálica, o qual não foi apresentado pela maioria dos estudantes.

Tabela 6 - Frequência e porcentagem dos estudantes que não representaram a estrutura das substâncias

Substância	KCl	N <sub>2</sub>	HCl	Ca
<b>Não representou</b>	35 (28,22%)	39 (31,45%)	40 (32,25%)	71 (57,25%)

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos, em relação à dificuldade dos estudantes de representar quimicamente as unidades estruturais das substâncias, são reforçados por outros trabalhos. Fernandes, Campos e Marcelino Júnior (2010) desenvolveram uma investigação com 30 acadêmicos de um curso de Licenciatura em Química, em que nenhum dos sujeitos representou, simultaneamente, de forma satisfatória as três substâncias solicitadas (iônica, molecular e metálica).

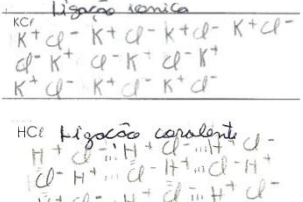
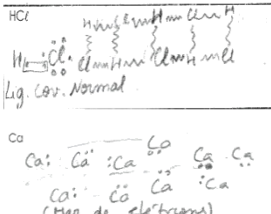
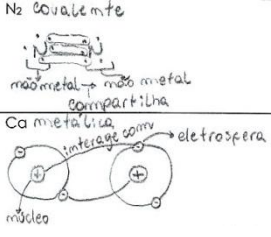
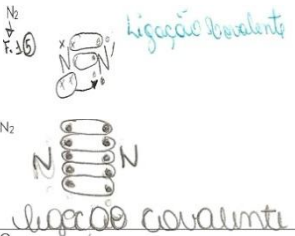
A atividade de representar as interações químicas que ocorrem entre os átomos ou íons e entre suas unidades estruturais (moléculas e retículos cristalinos) em uma substância, demanda dos estudantes um alto nível de abstração. Tal tarefa exige a transposição de seus modelos teóricos em representativos.

O propósito dessa atividade é identificar as ideias dos estudantes sobre a natureza das ligações químicas. Parte-se do entendimento que a natureza das ligações químicas é fundamental para a compreensão do mecanismo de formação das substâncias, a partir das interações entre suas unidades estruturais.



Além disso, as representações dos estudantes fornecem informações sobre os modelos de ensino enfatizados no nível médio, durante o desenvolvimento das substâncias de caráter predominantemente iônico, molecular e metálico. Os modelos representativos apresentados foram analisados considerando a natureza eletrostática das ligações químicas e foram agrupados em categorias, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Categorias dos modelos representativos dos estudantes

Categoria	Descrição	Exemplos
<b>Interações eletrostáticas entre as unidades estruturais da substância (IE)</b>	São representadas interações eletrostáticas entre as unidades estruturais da substância. Os estudantes representam as cargas dos íons e as cargas parciais dos átomos nos compostos moleculares. Possuem a ideia de retículo cristalino, aglomerado metálico e interações intermoleculares.	
<b>Interações entre as unidades estruturais da substância (I)</b>	São representadas interações entre as unidades estruturais da substância, entretanto não esquematizam a natureza destas interações. Possuem noções de retículo cristalino, aglomerado metálicos e interações intermoleculares, porém não apresentam a ideia de força eletrostática.	
<b>Sem interações entre as unidades estruturais da substância (SI)</b>	Representam somente uma unidade estrutural da substância. Apenas apresentam um par de entidades (átomos ou íons), esquematizando a transferência de elétrons, o compartilhamento de elétrons e a atração núcleo - elétrons. Não representam interações eletrostáticas entre as unidades.	
<b>Outros</b>	Representações inconsistentes e equivocadas, que não se encaixaram nas categorias anteriores. Por exemplo, apresentam a transferência de elétrons em uma substância molecular, ou, em uma única substância representam a transferência e o compartilhamento de elétrons, entre outros.	

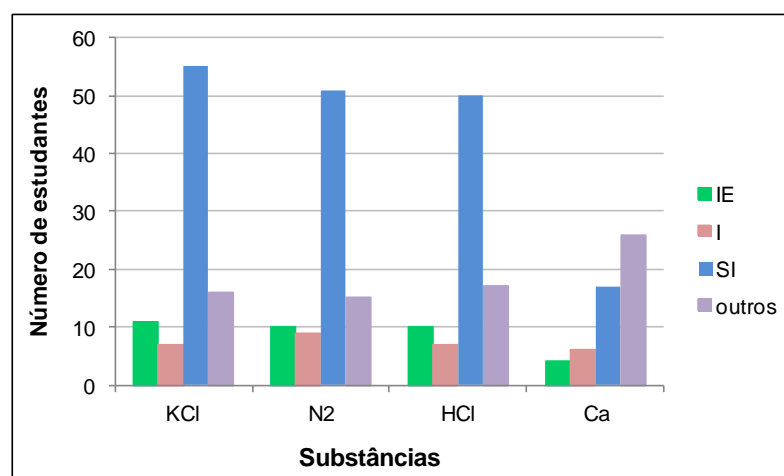
Fonte: Autores.

A partir das categorias emergidas, infere-se que a natureza eletrostática das ligações químicas é utilizada para fundamentar as forças de atração e repulsão no ensino médio. Embora apresentando algumas limitações, tais como a necessidade de considerar que os átomos ou íons apresentem simetria perfeita e que suas cargas

estejam localizadas em espaços fixos, o modelo eletrostático constitui uma boa ferramenta para a interpretação das ligações químicas.

Detectou-se que muitos estudantes não possuem clara a noção das interações que ocorrem entre as cargas consideradas estacionárias. A maior parte deles não desenvolveu o raciocínio da atração entre cargas opostas e não fundamentou a natureza das interações, quando presentes, em suas representações. Isso pode ser observado nos desenhos das categorias I e SI. A Figura 13 apresenta o número de estudantes que representou cada uma das substâncias propostas de acordo com as categorias que emergiram da análise.

Figura 13 - Total de alunos por categoria dos modelos representativos

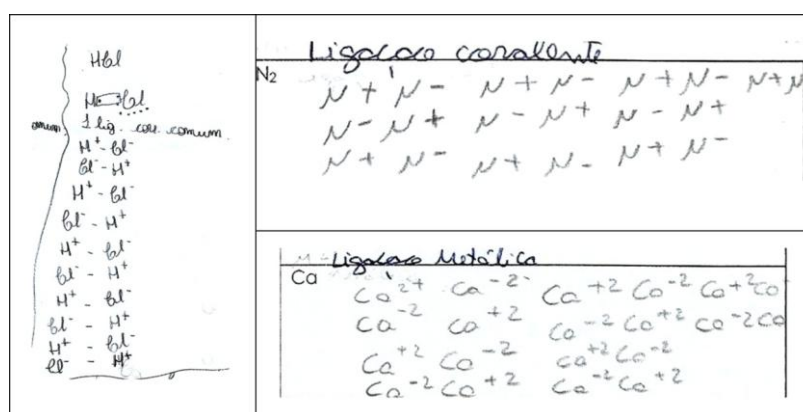


Fonte: Autores.

Apenas 11 estudantes representaram as unidades estruturais da substância iônica por meio das interações eletrostáticas, sendo que este índice diminuiu para dez nos compostos covalentes e quatro no metálico. Segundo De Posada (1999), esse problema está associado à abordagem da interação eletrostática em sala de aula, a qual é apresentada apenas como responsável pela atração dos íons na ligação iônica. Enquanto que na abordagem das outras ligações, esse tipo de interação provavelmente não é enfatizado, o que leva os alunos a pensarem em um novo tipo de força.

Dentre as representações da categoria IE, foram encontrados alguns indícios de problemas conceituais (Figura 14). Estas representações são fontes de informação sobre possíveis confusões dos estudantes em relação à diferenciação de átomo e íon, bem como dos modelos de retículos iônico e metálico.

Figura 14 - Representações da categoria IE



Fonte: Autores.

É perceptível que os estudantes apresentaram a noção de que a força eletrostática é responsável pela união das unidades estruturais de cada substância, sendo essa razão de suas representações estarem nesta categoria. No entanto, nota-se que para os compostos moleculares, a representação das cargas parciais foi suprimida e as espécies foram apresentadas como se fossem íons.

Por meio dessa observação, percebe-se que esses estudantes não diferem átomos de íons, a notar-se pela representação indiferenciada dessas entidades. Algumas pesquisas sugerem que o conceito de íon seja reforçado em sala de aula (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009; SILVA et al., 2014), visto que, em muitos casos, os materiais didáticos utilizados no ensino médio subestimam o protagonismo dessas espécies (CÁSSIO et al., 2012), além de suas propriedades no mundo submicroscópico não serem evidentes para os estudantes (DE POSADA, 1999).

Já na representação da ligação metálica, o estudante apresentou o retículo cristalino e utilizou a interação eletrostática como responsável pela atração entre as espécies. No entanto, para isso representou um 'ânion' proveniente do átomo de

cálcio, o que revela uma possível confusão entre o modelo eletrostático iônico e o modelo do mar de elétrons, que conforme mencionado anteriormente é o menos compreendido no nível médio.

No que diz respeito à natureza das ligações químicas, as representações da categoria IE são as mais avançadas. Embora alguns aspectos necessitem ser revistos para que os modelos dos estudantes se aproximem do modelo científico, as ideias apresentadas foram coerentes em relação à interação eletrostática.

Já as representações da categoria I não informam a natureza das forças responsável pela união das dez partículas elementares em cada substância. Os estudantes possuem conhecimento da existência do retículo cristalino e das interações intermoleculares, entretanto não pensaram submicroscopicamente sobre a força que mantém os íons, átomos ou moléculas unidos nestas estruturas.

É interessante questionar o fundamento teórico construído pelos estudantes à medida que conhecem os diferentes tipos de “aglomerados” atômicos, mas não sabem como ou porque estes estão unidos. Uma das possibilidades para essa falta de embasamento, conforme alerta Chassot (2014), é a escolha do modelo atômico adotado pelo professor, que deve ter um objetivo e estar relacionada com sua utilização posterior. Muitos alunos utilizaram representações associadas aos modelos de Dalton e Thomson, no entanto, ao que parece a abordagem das ligações químicas está fundamentada em forças atrativas e repulsivas entre núcleos e elétrons dos átomos.

Melo (2002) propõe um modelo padrão, baseado nos postulados de Bohr e nas interações eletrostáticas, para o ensino das ligações químicas. Segundo a autora, esse modelo justifica o comportamento dos átomos e é adequado para esta fase da aprendizagem. Neste sentido, torna-se importante que o professor esclareça a fundamentação teórica que optou para a explicação dos diferentes tipos de ligações químicas e que essa esteja em harmonia com o modelo atômico utilizado.

As representações da categoria SI refletem que os estudantes não pensaram na constituição da substância como um todo. Nestes modelos representativos, as interações foram utilizadas somente para a formação das unidades elementares.

É provável que esses estudantes não tenham desenvolvido a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. Ao representarem apenas uma ligação no cloreto de potássio, eles não estabeleceram relações com as características macroscópicas do composto, tais como sólido e elevada temperatura de fusão. Conforme Medonça e Justi (2009a), deve-se confrontar as concepções do tipo “molécula” em compostos iônicos com suas propriedades físicas, pois esse exercício auxilia os estudantes na percepção de incoerências, o que pode acarretar no abandono de modelos moleculares e levá-los a constituir o pensamento da estrutura de retículo cristalino.

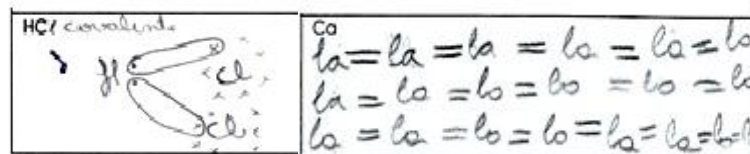
De maneira semelhante, para os compostos moleculares e metálico não foram representadas as dez unidades elementares das substâncias. Nesses casos, os estudantes não utilizaram as interações intermoleculares e a estrutura em rede para representação dos modelos das substâncias  $N_2$ , HCl e Ca, respectivamente.

Vale ressaltar que esta categoria, SI, foi a que apresentou o maior índice de estudantes em praticamente todas as substâncias. Isso pode ser consequência da ênfase dada durante o estudo das ligações químicas, no qual a aplicação de regras e fórmulas parece ter sido privilegiada. Pelo que se percebe, esse tipo de abordagem é um tanto quanto problemática, pois os estudantes ficaram restritos à aplicação de regras e não utilizaram um raciocínio pertinente para interpretar as interações que ocorrem nos diferentes tipos de substâncias.

Neste sentido, o estabelecimento de relações entre as propriedades macroscópicas dos compostos e o submicroscópico leva os estudantes a desenvolverem modelos representativos mais coerentes. Desta forma, o ensino de ligações químicas torna-se mais significativo quando são relacionados os aspectos observáveis com os inobserváveis.

Na categoria ‘outros’ foram agrupadas as representações consideradas confusas, o que impossibilitou sua classificação em outras categorias. Os estudantes não apresentaram um modelo teórico condizente ou que se aproxime das teorias científicas, principalmente no tocante à natureza das interações. Entretanto, como o propósito é identificar suas ideias sobre o assunto, algumas representações se tornam importante para os fins desta pesquisa (Figura 15).

Figura 15 - Representações da categoria 'outros'

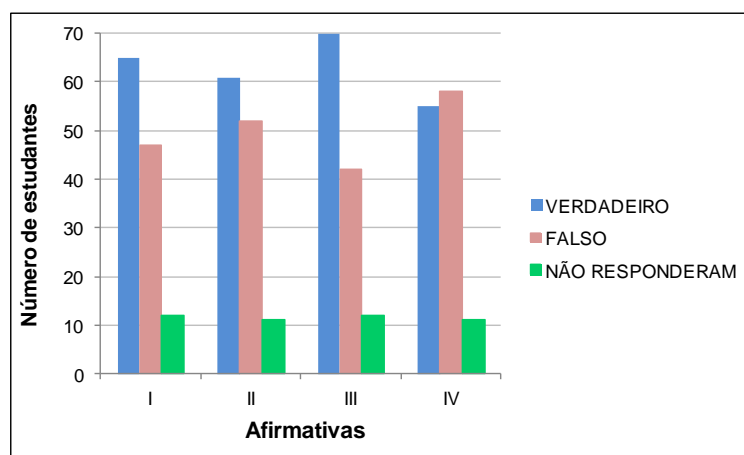


Fonte: Autores.

É possível perceber na representação do composto HCl, que o estudante não apresentou noções de valência e estrutura. Em outras representações também foram identificadas deficiências desse tipo. Já para a substância metálica, o estudante representou o compartilhamento de um par de elétrons entre os átomos de cálcio. Apesar de equivocado, o aluno tentou contemplar os elétrons da camada de valência do cálcio, entretanto, confundiu os modelos.

Em relação à avaliação das afirmativas da quinta questão do instrumento investigativo (Apêndice A), em um primeiro momento, levantou-se o número de estudantes que avaliou como verdadeira ou falsa cada afirmativa (Figura 16). Após, as justificativas apresentadas foram categorizadas a fim de detectar o que pensam os estudantes sobre o assunto, conforme a Tabela 7, na qual a parte em destaque corresponde às justificativas dos que acertaram o exercício.

Figura 16 - Avaliação dos estudantes para as afirmativas de I a IV



Fonte: Autores.

Tabela 7 - Categorização das justificativas dos estudantes

Afirmativa	Justificativas	Categorias
I	Verdadeiro 13	- Justificativa satisfatória (10) - Justificativa insatisfatória (3)
	Falso 12	- Ligação covalente não é eletrostática (5) - Ligação covalente e metálica não são eletrostáticas (2) - Não envolvem eletricidade (5)
II	Verdadeiro 14	- Ideia de 'molécula' na ligação iônica (14)
	Falso 18	- Justificativa satisfatória (3) - Justificativa insatisfatória (11)
III	Verdadeiro 7	- Justificativa satisfatória (5) - Justificativa insatisfatória (2)
	Falso 12	- Erro na estequiometria da fórmula mínima (5) - O composto não é iônico (3) - Outros (4)
IV	Verdadeiro 16	- Não metais são maus condutores de eletricidade (12) - Compostos covalentes não têm íons (4)
	Falso 21	- Justificativa satisfatória (10) - Justificativa insatisfatória (11)

Fonte: Autores.

A afirmativa I tratou sobre a natureza eletrostática das ligações químicas e foi considerada falsa por 47 estudantes (37,9%). As justificativas apresentadas por esses alunos remetem a ideia de que apenas a ligação iônica é de natureza eletrostática ou as interações não envolvem eletricidade, conforme as categorias da Tabela 7. Algumas justificativas foram consideradas satisfatórias, nas quais foram apresentados aspectos como a atração e repulsão entre cargas opostas ou entre núcleo e eletrosfera, bem como a ideia de íons e polos parcialmente positivo e negativo.

As afirmativas II, III e IV trataram de características provenientes da natureza e do tipo de ligação química. Sobre o cloreto de sódio existir como 'molécula', afirmativa II, 61 estudantes (49,2%) consideraram verdadeira e as justificativas foram fundamentadas no modelo molecular para essa substância. Apenas três estudantes apresentaram justificativas satisfatórias, que relacionaram o composto iônico à estrutura cristalina.

Na afirmativa III, por intermédio da configuração eletrônica dos átomos, os estudantes deveriam avaliar a fórmula mínima  $\text{CaCl}_2$  proposta para o composto

iônico fluoreto de cálcio. Dos 70 estudantes (56,5%) que avaliaram como verdadeira, poucos apresentaram justificativas satisfatórias, demonstrando o desenvolvimento do seu raciocínio. Dentre os que optaram como falsa (33,9%), percebeu-se equívocos na estequiometria da fórmula mínima, bem como na classificação do tipo de ligação.

A afirmativa IV referia-se a não condução de eletricidade pelos compostos moleculares nos estados sólido e líquido ou dissolvido e foi considerada falsa por 58 estudantes (46,8%). Alguns apresentaram justificativas satisfatórias, levantando a questão da ionização e da estrutura química do grafite. Para os que consideraram a afirmativa verdadeira (44,3%) e justificaram, os argumentos se referiram à característica dos não metais serem maus condutores de eletricidade ou que os compostos covalentes não possuem íons.

## I.2 ABORDAGEM DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS NOS LIVROS DIDÁTICOS

No processo de avaliação do PNLD (2015-2017) foram inscritas 13 coleções de livros didáticos (LD) para disciplina de Química, sendo que apenas quatro foram aprovadas (BRASIL, 2014). Os primeiros volumes das obras selecionadas foram as fontes de informações desta investigação, pois geralmente abordam o conteúdo de ligações químicas. O Quadro 6 apresenta as informações dos LD aprovados, bem como o código que será utilizado nesta pesquisa para se referir a cada obra.

Quadro 6 - Livros analisados, suas informações e códigos de identificação

Código	Livro	Autor	Editora	Edição	Ano
A	Química 1	Martha Reis M. da Fonseca	Ática	1ª	2013
B	Química 1	Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado	Scipione	2ª	2013
C	Química cidadã	Wildson Santos e Gerson Mol (coords.)	AJS	2ª	2013
D	Ser protagonista: Química	Murilo Tissoni Antunes	SM	2ª	2013

Fonte: LD analisados.



### I.2.1 Método de análise dos LD

Para proceder com a investigação foram definidos três critérios, que são:

- Tratamento do tópico ligação química nos LD;
- Abordagem conceitual e representação;
- Recursos visuais.

A avaliação de cada critério foi realizada por meio de categorias definidas anteriormente ou que emergiram durante a análise dos LD. Em alguns casos, cada categoria se subdividiu em subcategorias, denominadas unidades elementares.

A metodologia utilizada para avaliação dos critérios envolveu três pesquisadores<sup>4</sup>, da área de ensino de Química, que analisaram independentemente o(s) capítulo(s) referente(s) ao conteúdo de ligações químicas presentes nos primeiros volumes das coleções aprovadas pelo PNLD 2015-2017. As divergências nas classificações propostas pelos pesquisadores, quando ocorreram, foram novamente avaliadas e discutidas em conjunto, com a finalidade de entrarem em acordo. Esta triangulação foi desenvolvida com o propósito de diminuir parcialidades durante as análises, o que confere maior confiabilidade aos resultados e garante sua validade.

Os dados foram obtidos pelo preenchimento individual de uma tabela que esquematizava os critérios, suas categorias e unidades elementares para cada LD. A fim de sistematizar a descrição desta análise, a seguir são apresentadas as categorias e suas unidades elementares para os critérios pré-definidos.

---

<sup>4</sup> Desta parte do trabalho, foi submetido o projeto “Ligações químicas: Avaliação da abordagem nos livros didáticos e de propostas metodológicas para o ensino médio” (Registrado no SIPPEE sob o número 04.018.14) ao edital do Programa de Bolsas de Iniciação à Pesquisa – PBIP (2014) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), o qual foi contemplado com uma bolsista. Durante a execução do projeto, 2º semestre de 2014 e 1º semestre de 2015, a bolsista auxiliou na análise dos dados juntamente com o autor desta tese, o que consistiu em uma das três análises da triangulação. As outras duas análises foram realizadas pela professora orientadora deste trabalho e por uma professora do ensino médio da rede estadual e doutoranda do LAEQUI.

### 1.2.1.1 Tratamento do tópico ligação química nos LD

Para a análise do tratamento dado ao tópico ligação química nos LD, em um primeiro momento, buscou-se situar o conteúdo na obra. Para isso, os números de páginas e capítulos dedicados a esse assunto foram identificados. A seguir, verificou-se a sequência proposta para o desenvolvimento dos conceitos, bem como a ordem dos capítulos em cada obra. Por fim, os recursos didáticos propostos pelos LD durante a abordagem das ligações químicas foram identificados. O Quadro 7 apresenta as categorias e as unidades elementares elaboradas.

Quadro 7 - Categorias e unidades do critério “Tratamento do tópico ligação química”

<b>Categorias</b>	<b>Unidades</b>	<b>Objetivo</b>
Número de páginas	Livro didático	Identificar o total de páginas do livro analisado
	Ligações químicas	Identificar o número de páginas dedicadas às ligações químicas
	Ligações interatômicas	Identificar o número de páginas dedicadas apenas às ligações interatômicas
Número de capítulos	Livro didático	Identificar o total de capítulos do livro analisado
	Ligações químicas	Identificar o número de capítulos dedicados às ligações químicas
	Ligações interatômicas	Identificar o número de páginas dedicadas apenas às ligações interatômicas
Localização do capítulo	-	Elencar os capítulos anteriores e posteriores ao das ligações químicas
Sequência	-	Determinar a ordem proposta dos conceitos científicos do tópico
Recursos didáticos	-	Identificar as propostas didáticas sugeridas nos capítulos de ligações químicas

Fonte: Autores.

### 1.2.1.2 Abordagem conceitual e representação

Neste critério, o propósito é analisar conceitos relevantes e identificar os modelos atômicos mais utilizados em cada LD na abordagem das ligações químicas. Para tanto, considerou-se a definição dada pelos LD a conceitos fundamentais das ligações químicas, extraíndo suas palavras-chave. Por intermédio dessa avaliação, procurou-se conhecer o fundamento teórico adotado para determinado conceito. O

Quadro 8 apresenta o objetivo de cada categoria e as unidades elementares, que correspondem a um conceito fundamental no estudo das ligações químicas.

Quadro 8 – Objetivos e unidades elementares das categorias fundamento teórico e palavras-chave

<b>Categorias</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Unidades</b>
Fundamento teórico	Identificar o embasamento teórico da definição do conceito	- Ligação química - Estabilidade - Teoria do octeto
Palavras-chave	Identificar os termos mais importantes durante a definição do conceito	- Ligação iônica - Ligação covalente - Ligação metálica

Fonte: Autores.

Além das expressões oral e escrita, a aprendizagem em Química requer a representação, que constitui uma linguagem específica dessa área do conhecimento. Justamente esta especificidade, diferente da utilizada em situações cotidianas, é responsável por muitas dificuldades na aprendizagem dos conceitos científicos. Neste contexto, as representações das estruturas químicas, que muitas vezes podem constituir entraves para a aprendizagem e passar ideias equivocadas, também foram foco de análise deste item.

Durante a avaliação da categoria representação, buscou-se identificar nas estruturas químicas (representação concreta) o modelo atômico e o tipo de representação utilizado nos LD. A análise foi baseada na classificação proposta por Matus, Benarroch e Peralez (2008) e Matus, Benarroch e Nappa (2011), que é apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 - Classificação utilizada para a análise da categoria representação

Modelos atômicos	Características	Domínio de validade	Tipo de representação
Atômico-molecular (sem constituição interna do átomo)	Requer unicamente o conceito de átomo e molécula, sem a necessidade de considerar a existência de elétrons. Representação baseada no modelo de Dalton, sustentada pelo conceito de afinidade entre os átomos que deu origem as hipóteses de Avogadro. Foram desenvolvidas entre 1807 e 1860.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinção de substâncias simples e compostas</li> <li>- Trocas químicas como reorganização de átomos</li> </ul>	Bolas e varetas
			Fundido
			Bolas
			Varetas
Rutherford-Bohr-Sommerfeld (com constituição interna do átomo)	Requer o entendimento que o átomo é formado por núcleo com partículas positivas e elétrons localizados na eletrosfera. É uma representação mais avançada, pois se deve considerar a camada de valência. Correspondem às contribuições de Thomson (1904), Rutherford (1911), Bohr (1913) e Sommerfeld (1916) no princípio do século XX.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fenômenos de eletrização e eletrólise</li> <li>- Fenômenos nucleares</li> <li>- Explicação das propriedades das substâncias e suas transformações</li> <li>- Espectro de emissão do hidrogênio</li> <li>- Efeito fotoelétrico</li> </ul>	Cunhas
			Lewis
			Diagrama de linhas
			Níveis eletrônicos
Ondulatório	Derivam da mecânica quântica e ondulatória. Fazem referência a núcleos, elétrons e orbitais atômicos e moleculares.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectros atômicos de elevada resolução</li> <li>- Ligação covalente (geometria molecular)</li> </ul>	Combinação Linear dos orbitais atômicos (CLOA)
			Orbitais moleculares (OM)
Não se associa a nenhum modelo		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Molecular/ fórmulas mínimas</li> </ul>	H <sub>2</sub> O NaCl

Fonte: Adaptado de Matus, Benarroch e Peralez (2008) e Matus, Benarroch e Nappa (2011).

A avaliação foi feita nas estruturas químicas dos capítulos de ligações químicas. Primeiramente, as representações foram classificadas de acordo com o modelo atômico, que pode ser: atômico-molecular, Rutherford-Bohr-Sommerfeld, ondulatório e não se associa a nenhum modelo. A intenção neste momento é analisar qual o modelo exigido para o entendimento de cada representação. É possível observar que a complexidade de informações aumenta à medida que as teorias atômicas avançam.

O tipo de representação está associado ao modelo atômico. Por exemplo, as representações classificadas no modelo atômico-molecular, só podem ser do tipo bolas e varetas, fundido, bolas ou varetas. Elas constituem uma primeira aproximação com o estudo das estruturas químicas e podem ser compreendidas utilizando somente os conceitos de átomos e moléculas, sem a necessidade de considerar a existência dos elétrons.

As representações que têm como referencial o modelo Rutherford-Bohr-Sommerfeld, consideram os elétrons da camada de valência e, em específico, as do tipo “cunhas” o arranjo tridimensional, ou seja, as ligações que estão no plano do papel, para frente ou para trás do mesmo.

As representações do modelo ondulatório podem ser classificadas em: combinação linear dos orbitais atômicos (CLOA) ou orbital molecular (OM). A diferença entre elas é que as representações do tipo CLOA indicam apenas os orbitais atômicos de partida, não ilustrando a ligação química. Enquanto que as do tipo OM não delimitam os orbitais atômicos que dão origem a ligação, somente observa-se o orbital formado pela união dos átomos.

Por fim, a representação molecular indica os elementos e quantidade de átomos que formam a molécula, sendo que não se encaixa em nenhum dos modelos descritos. Com o propósito de abranger os compostos iônicos e metálicos nesta análise, acrescentou-se a expressão “fórmulas unitárias”, permitindo a análise da proporção atômica nos retículos cristalinos.

É importante ressaltar que, cientificamente, cada representação tem sua utilidade e seu significado, suas vantagens e limitações.

### *1.2.1.3 Recursos visuais*

O propósito deste critério é analisar as representações visuais utilizadas nos LD na abordagem do conteúdo de ligações químicas. Como recurso visual foi considerado as representações do tipo fotografia, desenho, diagrama, esquema, gráfico e tabela.

Em um primeiro momento, a avaliação foi feita com base em categorias propostas por Perales e Jiménez (2002), que são: sequência didática, iconicidade e conteúdo científico<sup>5</sup>. Em um segundo momento, os recursos visuais foram analisados considerando os níveis de representação da matéria (JOHNSTONE, 1993, 2000). No Quadro 10 é apresentada a definição das categorias utilizadas para a análise dos recursos visuais.

Quadro 10 - Categorias do critério “Recursos visuais”

<b>Categoria</b>	<b>Definição</b>
Sequência didática	São os textos ou parágrafos utilizados para a geração das imagens
Iconicidade	É o grau de complexidade das imagens
Conteúdo científico	Refere-se ao conteúdo específico da temática analisada
Níveis de representação	Considera os três níveis de representação da matéria

Fonte: Adaptado de Perales e Jiménez (2002); Johnstone (1993, 2000).

Essas categorias se subdividem em unidades elementares. A seguir são descritas detalhadamente cada uma e apresentadas suas unidades elementares.

A sequência didática considera que os parágrafos são lidos sequencialmente pelos estudantes e o foco da análise está no texto que antecede e sucede as imagens.

Quadro 11 - Unidades elementares da categoria sequência didática

<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Evocação	O texto se refere a um fato do cotidiano ou conceito que se supõe conhecido pelo aluno.
Definição	O significado de um termo novo é estabelecido no contexto teórico.
Aplicação	É um exemplo que estende ou consolida uma definição.
Descrição	O texto faz referência a fatos ou eventos do cotidiano que se supõem serem desconhecidos pelo leitor. Também se incluem nessa unidade conceitos necessários para a discussão do tópico principal.
Interpretação	São utilizados conceitos teóricos para explicar os eventos experimentais.
Problematização	No texto há questões que não podem ser respondidas com os conceitos já desenvolvidos.

Fonte: (PERALES; JIMÉNEZ, 2002, p. 375).

<sup>5</sup> Como leitura complementar, sugere-se o artigo *Análise dos Recursos Visuais Utilizados no Capítulo de Ligações Químicas dos Livros Didáticos do PNL D 2015*, que será publicado no primeiro volume do ano de 2016 da Revista Acta Scientiae, no qual é apresentada uma análise mais detalhada sobre o assunto, que contempla outras categorias.

A categoria iconicidade analisa a complexidade das imagens. Há dois tipos de representações visuais: as mais realistas e as mais abstratas. Essas últimas exigem um maior conhecimento do código simbólico, portanto, apresentam um menor grau de iconicidade.

As unidades elementares desta categoria são expostas no Quadro 12, no qual se percebe, por exemplo, que a unidade elementar “fotografia” é a mais realista, ou seja, apresenta o maior grau de iconicidade. Já a unidade elementar “desenho esquemático + signos normalizados” é a mais abstrata e possui menor grau de iconicidade, mas necessita de maior conhecimento dos códigos simbólicos específicos.

Quadro 12 - Unidades elementares da categoria iconicidade

<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Fotografia	Quando interpreta o espaço por meio de fotos.
Desenho figurativo	Valoriza a representação orgânica mostrando os objetos mediante a imitação da realidade.
Desenho figurativo + signos	Representa ações ou magnitudes inobserváveis em um espaço de representação heterogêneo.
Desenho figurativo + signos normalizados	A ilustração representa figurativamente uma situação e paralelamente se representam alguns aspectos mediante o uso de signos normalizados.
Desenho esquemático	Valoriza as representações das relações sem se importar com os detalhes.
Desenho esquemático + signos	Representa ações ou magnitudes inobserváveis.
Desenho esquemático + signos normalizados	A ilustração constitui um espaço de representação homogêneo e simbólico com regras sintáticas específicas.

Fonte: (PERALES; JIMÉNEZ, 2002, p. 375-376).

A categoria conteúdo científico leva em consideração os tópicos chave das ligações químicas. Os recursos visuais foram quantificados considerando as unidades elementares apresentadas no Quadro 13.

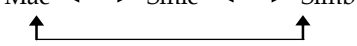
Quadro 13 - Unidades elementares da categoria conteúdo científico

Unidade	Definição
Ligação química	São utilizadas para a apresentação do conceito inicial da ligação química, geralmente introduzem o assunto. Ainda engloba representações que comparam as interações interatômicas
Estabilidade	Relacionadas a aspectos energéticos (gráficos, tabelas e quadros) ou aos gases nobres
Regra do octeto	Especificamente utilizadas para o desenvolvimento da teoria do octeto e exemplificações de compostos que seguem a regra
Ligação iônica	Ilustram a transferência de elétrons, atração entre íons, retículos cristalinos ou aspectos e propriedades macroscópicas dos compostos iônicos
Ligação covalente	Ilustram o compartilhamento de elétrons, polarização e geometria das moléculas ou aspectos e propriedades macroscópicas dos compostos moleculares
Ligação metálica	Ilustram o modelo mar de elétrons, retículos cristalinos, ligas metálicas ou aspectos e propriedades macroscópicas dos compostos metálicos

Fonte: Autores.

Considerando a relevância das três dimensões do conhecimento químico para o entendimento das ligações químicas, o propósito da categoria níveis de representação é investigar se recursos visuais dos LD auxiliam os estudantes na transição entre os níveis submicroscópico, macroscópico e simbólico. As unidades elementares desta análise são apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 - Unidades elementares da categoria níveis de representação

Unidade	Definição
Macroscópico (Mac)	Apresenta apenas aspectos observáveis e realistas
Submicroscópico (Smic)	Ilustra aspectos inobserváveis e abstratos
Simbólico (Simb)	Utilizada símbolos e códigos da Química
Relaciona dois níveis	Relaciona dois níveis, pode ser de três tipos: $Mac \longleftrightarrow Smic$ $Mac \longleftrightarrow Simb$ $Smic \longleftrightarrow Simb$
Relaciona os três níveis	Transita entre os três níveis: $Mac \longleftrightarrow Smic \longleftrightarrow Simb$ 

Fonte: Autores.



## I.2.2 Apresentação e discussão do resultados

A apresentação dos resultados referentes à análise da abordagem do conteúdo de ligações químicas nos quatro LD está esquematizada nos três critérios considerados durante a avaliação, descritos nos item I.2.1 desta unidade.

### I.2.2.1 Tratamento do tópico ligações químicas pelos LD

Na Tabela a seguir, são apresentadas as informações obtidas em cada LD.

Tabela 8 – Espaço destinado às ligações químicas nos LD analisados

<b>Livro didático</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Número de páginas				
Total do LD	320	320	320	320
Ligações químicas	43	35	52	46
Ligações interatômicas	38	32	40	32
Número de capítulos				
Total do LD	19	09	08	17
Ligações químicas	04	01	02	02
Ligações interatômicas	04	01	01	01

Fonte: Autores.

As quatro obras possuem o mesmo número de páginas, o que deve ser um critério estabelecido pelo edital de participação do PNLD 2015-2017. Em todas, as ligações interatômicas ocupam no mínimo 10% das páginas e na maioria dos casos estão condensadas em um único capítulo, com exceção do livro A, que distribui o conteúdo em quatro capítulos.

Em relação à sequência em que o tópico ligações químicas é apresentado nos LD, buscou-se localizar o capítulo referente a esse assunto dentre todos propostos por obra. No Quadro 15 estão elencados os capítulos dos quatro LD e em destaque os destinados às ligações interatômicas.

Quadro 15- Localização do capítulo de ligações químicas nos LD

LD	Localização do capítulo de Ligações químicas
A	Grandezas físicas - Estados de agregação da matéria - Propriedades da matéria - Substâncias e misturas - Separação de misturas - Reações químicas - Átomos e moléculas - Notações químicas - Alotropia - Eletricidade e radioatividade - Evolução dos modelos atômicos - Modelo básico do átomo - Tabela Periódica - <b>Ligações covalentes</b> - Forças intermoleculares - Compostos orgânicos - <b>Ligação iônica</b> - Compostos inorgânicos - <b>Metais e Oxirredução</b>
B	O que é Química? - Introdução ao estudo das propriedades específicas dos materiais - Materiais: estudo de processos de separação e purificação - Aprendendo sobre o lixo urbano - Um modelo para os estados físicos dos materiais - Modelos para o átomo e uma introdução à tabela periódica - Introdução às transformações químicas - <b>Quantidades nas transformações químicas - Ligações químicas, interações intermoleculares e propriedade dos materiais</b>
C	Transformações e propriedades das substâncias - Materiais e processos de separação - Constituintes das substâncias, Química e Ciência - Estudo dos gases - Modelos Atômicos - Classificação Periódica - <b>Ligações químicas</b> - Substâncias Inorgânicas
D	Química: objeto de estudo de aplicações - Unidades de medida - Matéria e energia - Sistemas, substâncias puras e misturas - Propriedades e transformações da matéria - Modelos atômicos e características dos átomos - A organização dos elementos - Propriedades dos grupos da tabela periódica - <b>Ligações químicas, características das substâncias iônicas, moleculares e metálicas e geometria molecular</b> - Estrutura molecular e propriedades dos materiais: forças intermoleculares - Balanceamento de equações químicas e tipos de reações químicas - Ácidos e Bases - Sais e óxidos - Relação entre massas de átomos e moléculas - Mol: quantidade de matéria - Os gases e suas transformações - Relações estequiométricas nas transformações químicas

Fonte: LD analisados.

Conforme já mencionado, o livro A desenvolve o conteúdo de ligações químicas disperso em quatro capítulos, diferente das demais obras que o concentra em um capítulo. Nesse livro, a autora apresenta o tópico de forma diferenciada:

- entre o desenvolvimento da ligação covalente e iônica, apresenta um capítulo destinado aos compostos orgânicos;
- entre as ligações iônica e metálica, apresenta um capítulo sobre os compostos inorgânicos;
- traz a ligação metálica no capítulo “Metais e oxirredução”, em que aborda as propriedades das substâncias metálicas atreladas ao tipo de ligação e às reações por transferência de elétrons.

A sequência proposta pelo livro A é interessante, pois aplica as ligações químicas em contextos específicos e relaciona com outros conteúdos importantes.

Uma observação é em relação à sistematização do tópico, visto que a abordagem das ligações químicas encontra-se entre outros conteúdos, o que pode dificultar a elaboração de modelos característicos, bem como a diferenciação de cada tipo de ligação pelo estudante. No entanto, é uma proposta válida e interessante de ser testada pelos professores.

Todos os LD apresentam os capítulos de estrutura atômica e tabela periódica prévios ao de interações químicas. Essa constatação indica um consenso entre os autores, que consideram esses tópicos básicos para o estudo da Química e, pode-se deduzir que sejam o ponto de partida para o desenvolvimento das ligações químicas.

Em praticamente todos os LD, aspectos relacionados à tabela periódica e propriedades dos elementos químicos compõem o capítulo que precede o de ligações químicas. O livro B é o único que apresenta o conteúdo de transformações químicas anterior ao desenvolvimento das ligações. Essa sequência não está de acordo com a encontrada por Ayres-Pereira (2013), que analisa a ordem proposta por LD utilizados no ensino fundamental. A pesquisa relata que o conceito de transformações químicas em todos os LD é apresentado após os de átomo e ligações químicas, o que pode ser um indicativo de que esses últimos sejam considerados quando as transformações químicas são abordadas. No caso do LD B, os autores propõem o início do estudo das transformações químicas por meio de aspectos macroscópicos. À medida que os capítulos avançam propõem o entendimento a nível submicroscópico por intermédio da abordagem das ligações químicas. Essa proposta é elucidada, principalmente pela sequência dos assuntos, pois as ligações químicas encerram o livro B.

Algumas diferenças entre os conteúdos propostos nos primeiros volumes das coleções foram detectadas. Por exemplo, os LD B e D propõem o desenvolvimento das quantidades químicas na primeira série do ensino médio, o LD A sugere a abordagem das reações de oxirredução e o LD C e D recomendam o estudo dos gases. Por outro lado, o LD B não aborda as substâncias inorgânicas e apresenta um capítulo sobre lixo urbano. Desta forma, percebe-se que não há um consenso entre as obras quanto aos conteúdos enfatizados, ficando a critério do professor a opção pelos tópicos que considera mais relevante para a primeira série do ensino médio.

Outra característica é que alguns LD organizam os capítulos em unidades. Em alguns casos, livro A e C, a unidade corresponde a grandes temas, que geram discussões nas quais os conteúdos abordados nos capítulos são inseridos.

O LD A apresenta cinco unidades, que são: mudanças climáticas, oxigênio e ozônio, poluição eletromagnética, poluição de interiores e chuva ácida. O capítulo correspondente às ligações covalentes está na quarta unidade citada e os capítulos referentes às ligações iônicas e metálicas na unidade chuva ácida. Já o LD C apresenta seus capítulos inseridos em três grandes eixos: consumo sustentável, poluição atmosférica e agricultura. O capítulo de ligações está dentro da última unidade.

O livro D está organizado em dez unidades, que abrangem os capítulos com assuntos afins e relacionados da Química. Por exemplo, a unidade 'Interações atômicas e moleculares' é constituída por dois capítulos. No primeiro são abordadas as ligações iônica, molecular e metálica, bem como suas características e propriedades. O segundo é referente à estrutura molecular e propriedades dos materiais por meio das forças intermoleculares. Por fim, o LD B não apresenta unidades, está organizado diretamente em capítulos.

Em relação à categoria sequência dos conceitos científicos, a ordem proposta pelos LD para a abordagem das ligações interatômicas foi analisada. Os tópicos em destaque no Quadro 16 foram identificados a partir do sumário das obras e os itens entre colchetes correspondem aos subtítulos apresentados ao longo dos capítulos, que foram identificados no decorrer do texto.

Quadro 16 - Sequência dos conceitos dos capítulos de ligações químicas

(continua)

LD	Sequência proposta para o ensino de ligações químicas
A	<b>Ligação Covalente</b> [Estabilidade de regra do octeto - Compartilhamento de elétrons - Casos especiais - Expansão e contração do octeto - Polaridade da ligação covalente - Geometria molecular - Polaridade da molécula - Macromoléculas - propriedades dos compostos covalentes] - <b>Ligação iônica</b> [Formação da ligação iônica - Fórmula unitária - Propriedades dos compostos iônicos] - <b>Metais e oxirredução</b> [Propriedades dos metais - Ligações metálicas - Ligas metálicas]

Quadro 16 - Sequência dos conceitos dos capítulos de ligações químicas

(conclusão)

LD	Sequência proposta para o ensino de ligações químicas
B	<b>Propriedades dos materiais e tipos de ligações químicas</b> [Que evidências sobre a natureza das ligações químicas podemos obter conhecendo: a temperatura de fusão, solubilidade e condutividade elétrica dos materiais] - <b>Ligações químicas: as ligações covalentes</b> [O que acontece quando os átomos se ligam? A ligação covalente - A polaridade das ligações covalentes - As interações intermoleculares e as propriedades das substâncias - As propriedades dos sólidos covalentes] - <b>Ligações químicas: as ligações iônicas</b> [Propriedades dos compostos iônicos] - <b>Ligações químicas: as ligações metálicas</b> [As propriedades das substâncias metálicas]
C	<b>Ligação iônica</b> [Por que os átomos se combinam - Íons e a condutividade elétrica - Formação de íons] - <b>Regra do octeto</b> [A regra do octeto e a tabela periódica] - <b>Representação das substâncias iônicas</b> - <b>Ligação covalente</b> - <b>Tipos de ligação covalente</b> - <b>Fórmula estrutural</b> - <b>Constituintes moleculares e amoleculares</b> - <b>Representação geométrica das moléculas</b> [Teoria da repulsão dos pares de elétrons] - <b>Polaridade das moléculas</b> [Como se formam polos nas moléculas - Identificando substâncias polares] - <b>Ligação metálica</b>
D	<b>Introdução ao estudo das ligações químicas</b> [Modelo do octeto e estabilidade dos gases nobres - Valência - Substâncias iônicas, moleculares e metálicas] - <b>Ligação iônica</b> [Fórmulas e nomenclatura de substâncias iônicas - Dissolução de substâncias iônicas em água] - <b>Ligação covalente</b> [Fórmula das substâncias moleculares: as representações de Lewis - Alotropia - Ionização de substâncias moleculares em água] - <b>Ligação metálica</b> [Ligas metálicas - Eletronegatividade e as ligações químicas] - <b>Estrutura espacial das moléculas</b> [Teoria de repulsão dos pares eletrônicos - Prevendo a geometria molecular] - <b>A polaridade das ligações e das moléculas</b> [Ligações polares e apolares - Momento de dipolo e polaridade das moléculas] - <b>Geometria molecular</b>

Fonte: LD analisados.

Os LD propõem sequências diferentes para a abordagem dos conceitos científicos. Os livros A e C começam os capítulos apresentando um dos tipos de ligações químicas, enquanto o livro D propõe uma introdução ao assunto. O LD B começa com os aspectos macroscópicos das materiais e os relaciona com os diferentes tipos de ligações químicas. Esse livro é o único que não menciona a teoria do octeto e a geometria molecular.

Sobre a sequência relacionada aos tipos de ligações químicas, as obras A e B começam pela ligação covalente, seguida pela iônica e por fim a metálica. Os livros C e D iniciam pela ligação iônica e na sequência apresentam as ligações covalente e metálica.

Na última categoria desse critério foram investigados os recursos didáticos sugeridos ao longo do capítulo de ligações químicas. Uma variedade de recursos foi encontrada, dentre os quais se destacam: atividades experimentais, projetos, atividades de pesquisa, entre outros. Todos os LD apresentam listas de exercícios que

contemplam questões dissertativas, bem como objetivas, no modelo dos concursos de vestibulares ou do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Além disso, apresentam questões ao longo do texto que podem ser utilizadas para problematizações dos conceitos em sala de aula ou para reflexões dos estudantes. O Quadro 17 expõe as propostas didáticas sugeridas em cada LD nos capítulos de ligações químicas.

Quadro 17 - Recursos didáticos propostos pelos LD

Recursos didáticos	Livros didáticos			
	A	B	C	D
Atividades experimentais	■	■	■	■
Atividade de elaboração de texto	■	■	■	■
Atividades de pesquisa	■	■	■	■
Atividades virtuais	■	■	■	■
Projetos	■	■	■	■
Propostas de debates e discussões	■	■	■	■
Temas	■	■	■	■
Textos com aspectos da História da Ciência	■	■	■	■
Textos com enfoque CTSA	■	■	■	■
Textos complementares, curiosidades e atualidades	■	■	■	■

Fonte: Autores.

As atividades experimentais constituem uma das estratégias mais difundidas no ensino de Química desde os anos 70 e são sugeridas por todos os LD. Nota-se que os autores preocupam-se em propor experimentos viáveis a realidade escolar, com materiais de fácil aquisição e que não sejam nocivos ao meio ambiente.

Em geral, percebeu-se que as atividades experimentais partem de questões problematizadoras que forçam a busca de respostas através da pesquisa de conceitos que ainda não foram desenvolvidos. Alguns exemplos encontrados são a atividade sobre polaridade e solubilidade proposta pelo livro A, em que são lançados questionamentos sobre a solubilidade do álcool etílico em água e gasolina. A atividade da condutividade elétrica, proposta pelos livros B e C, na qual os estudantes devem explicar a condução de eletricidade dos materiais pela natureza das ligações químicas.

Considerando a classificação proposta por Oliveira (2010), as atividades experimentais encontradas nos LD possuem características muito próximas do que a autora classifica como demonstrativa e de verificação. No primeiro tipo, o experimento é executado pelo professor para ilustrar alguns aspectos dos conteúdos, enquanto cabe aos alunos a observação dos fenômenos. Segundo a autora, esse tipo de atividade é desenvolvido frequentemente no início das aulas expositivas com o propósito de despertar o interesse dos alunos, ou ao término da aula, como forma de relembrar os conteúdos apresentados.

O segundo tipo é empregado com a finalidade de verificar ou confirmar a teoria. O papel do estudante é executar o experimento e explicar os fenômenos observados. Oliveira (2010) destaca algumas vantagens desse tipo de atividade experimental, tais como: os estudantes podem aprender técnicas e manusear equipamentos, requer pouco tempo e é ideal para alunos pouco familiarizados com a realização de atividades experimentais.

No entanto, detectou-se que as atividades experimentais propostas pelos LD fornecem um procedimento pronto, o que muitas vezes leva o estudante a executá-lo sem questionar sobre o que está fazendo ou se esse é o único caminho a ser percorrido para a solução do problema. Pelo que se detectou, em muitos casos, a problematização inicial é utilizada apenas com um caráter motivador, não sendo explorada no desenvolvimento das atividades propostas, que carecem de um caráter mais investigativo. Conforme ressaltam Cachapuz et al. (2011), não se deve dispor de procedimentos automáticos, faz parte da solução e requer do aluno um processo de reflexão e tomada de decisões sobre a sequência dos passos a seguir.

Apesar de as atividades experimentais se preocuparem com a aprendizagem dos conceitos científicos, sob nosso ponto de vista, da maneira como são apresentadas, não transmitem uma visão coerente da construção do conhecimento científico. Cabe ao professor tomar o cuidado para que aspectos relacionados à natureza da Ciência não sejam distorcidos, evitando a disseminação de ideias empiristas e indutivista da Ciência. Fica a cargo do professor: evidenciar que os cientistas utilizam vários métodos para a resolução de um problema; e que as observações feitas não são desprovidas de suas concepções, crenças ou até mesmo

ideias teóricas prévias. Com esses esclarecimentos, acredita-se que as atividades experimentais indicadas pelos LD podem constituir um recurso didático eficiente para o conteúdo de ligações químicas.

Outro recurso bastante frequente são os textos complementares, que trazem curiosidades ou atualidades sobre o assunto em questão. Os livros A e C apresentam o conteúdo de ligações químicas associado a temas. Apesar disso, percebe-se que essa relação é frágil, pois os conceitos podem ser entendidos sem o tema, ou, em muitos casos, os assuntos estão desconectados dos conceitos discutidos. Neste contexto, alerta-se que não basta a relação superficial com o tema, é necessário partir de temáticas e propostas metodológicas que estejam em consonância com a realidade e anseios atuais de um ensino que forme cidadãos aptos cientificamente a atuar e opinar (BRAIBANTE; PAZINATO, 2014).

Poucas propostas que coloquem os estudantes como sujeitos do processo de aprendizagem foram encontradas. Apenas nos livros B e D foram localizadas sugestões de projetos que envolvem os estudantes em situações problemáticas. E, somente o livro B propõe atividades de pesquisa e de elaboração de textos.

Observa-se ainda que os autores inserem, mesmo que superficialmente, textos relacionados à História da Química, bem como ao movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente, em uma tentativa de criar um contexto para as discussões dos conceitos. Entretanto, em algumas situações, esses aspectos fazem parte de textos complementares ou estão localizados em “boxes” desconectados do texto principal, ficando a critério dos estudantes sua leitura. De forma geral, os LD necessitam avançar para uma contextualização mais problematizadora e condizente com o verdadeiro significado de contextualizar (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013).

#### *1.2.2.2 Abordagem conceitual e representação*

Prosseguindo com as categorias de análise, buscou-se identificar nos LD as palavras mais utilizadas e o fundamento teórico para tópicos importantes do conteúdo de ligações químicas. O resultado é apresentado no Quadro 18.



Quadro 18 - Palavras-chave e fundamento teórico de conceitos importantes para as ligações químicas

Unidades	A	B	C	D
Ligação química	<b>Fundamento teórico</b>			
	Doação ou transferência de elétrons	Agrupamento de átomos	Interação entre átomos	Combinação de átomos
	<b>Palavras-chave</b>			
	Átomos, elétrons, doando\recendo, compartilhando	Interação, átomos, moléculas, partículas, substâncias	Forças de atração, combinação, substâncias, mais estável	Combinação, átomos, íons
Estabilidade química	<b>Fundamento teórico</b>			
	Teoria do octeto	Estado de menor energia	Estado de menor energia	Teoria do octeto
	<b>Palavras-chave</b>			
	Dois, oito, elétrons, camada de valência	Energia, estado energético, sistema	Energia, equilíbrio de forças, regra do octeto	-
Teoria do octeto	<b>Fundamento teórico</b>			
	Oito elétrons na camada de valência	-	Oito elétrons na camada de valência	Oito elétrons na camada de valência
	<b>Palavras-chave</b>			
	Estabilidade, nível de energia mais externo	-	Oito elétrons, camada de valência, gases nobres	Átomos isolados, gás nobre, camada de valência
Ligação iônica	<b>Fundamento teórico</b>			
	Atração eletrostática	Atração eletrostática	Atração eletrostática	Atração eletrostática
	<b>Palavras-chave</b>			
	Eletronegatividade, íons, atração eletrostática	Íons, cargas opostas, transferência de elétrons	Íons, interação, transferência de elétrons	Íons, cargas opostas, retículo cristalino
Ligação covalente	<b>Fundamento teórico</b>			
	Compartilhamento de pares de elétrons de valência	Compartilhamento de elétrons resultando na formação de moléculas	Forças de atração e repulsão	Forças de atração núcleo - elétrons
	<b>Palavras-chave</b>			
	Eletronegatividade, elétrons de valência, compartilhamento	Agrupamento de átomos, molécula, compartilhamento	Par de elétrons, compartilhamento	Compartilhamento, elétrons, átomos
Ligação metálica	<b>Fundamento teórico</b>			
	Atração entre íons positivos e elétrons	Modelo gás de elétrons	Modelo mar de elétrons	Modelo mar de elétrons
	<b>Palavras-chave</b>			
	Eletropositividade, cátion, elétrons semi livres	Atração, núcleos positivos, elétrons livres	Interação, elétrons de valência, elétrons livres	Elétrons de valência, elétrons livres

Fonte: Autores.

Algumas diferenças entre as obras foram detectadas, principalmente, em relação aos conceitos de estabilidade química, teoria do octeto e ligação metálica. Essa análise revelou algumas opções teóricas dos autores.

Quando se referem à estabilidade química, os livros A e D conferem à configuração eletrônica de gás nobre (dois ou oito elétrons na camada de valência) a responsabilidade pela capacidade dos átomos se manterem unidos por tempo indeterminado. Os LD B e C, enunciam claramente a estabilidade como estado de menor energia, no qual os átomos se encontram após o estabelecimento das ligações químicas. O LD B é o único que não menciona a teoria do octeto, já o livro C a apresenta como um guia para o estabelecimento de algumas ligações, ressalta suas limitações e afirma que essa regra é utilizada para explicar a fórmula e estrutura de algumas substâncias em nível médio.

Sobre a ligação metálica percebeu-se que os autores utilizam denominações distintas para o mesmo modelo curricular. Os livros C e D denominam de teoria do “mar de elétrons” o modelo que empregam para explicar o agrupamento de metais em um sólido. Já o LD B faz menção ao “gás de elétrons”, que passa a ideia de “um modelo de íons positivos, distribuídos na rede cristalina, imersos num ‘gás’ de elétrons, que não se encontram firmemente ligados a nenhum núcleo” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 298). Por fim, o livro A não utiliza uma denominação específica, a autora explica que ocorre uma atração entre os íons positivos e os elétrons semilivres, ambos provenientes dos metais.

Observando as diferentes conceituações percebe-se que não há um consenso na literatura indicada ao ensino médio sobre as denominações referentes à ligação metálica. No entanto, infere-se que o fundamento teórico apresentado pelos quatro LD é o mesmo, a interação eletrostática entre cátions e elétrons.

Na categoria representação, em um primeiro momento, verificou-se o modelo atômico mais utilizado pelos LD nos capítulos de ligações químicas. Retomando a aceção de modelo como representação de uma ideia, objeto ou fenômeno, baseado em analogias, que é desenvolvido a partir de um contexto com um objetivo específico, esta análise informa a respeito do modelo atômico que sustenta as representações utilizadas para explicar a natureza das ligações das

substâncias. Sendo assim, foram localizadas as estruturas químicas apresentadas nos referidos capítulos e identificado os modelos presentes (Tabela 9).

Tabela 9 - Modelo atômico utilizado nas representações das ligações químicas

Modelo atômico	Número de representações				Total
	A	B	C	D	
(1) Atômico-molecular <i>(sem constituição interna do átomo)</i>	06	08	21	17	52
(2) Rutherford-Bohr-Sommerfeld <i>(com constituição interna do átomo)</i>	29	01	39	14	83
(3) Ondulatório <i>(deriva da mecânica quântica e ondulatória)</i>	04	05	02	02	13
(4) Não se associa a nenhum modelo <i>(Fórmulas molecular/ mínima)</i>	09	02	05	08	24

Fonte: Autores.

A partir dos resultados encontrados é possível tecer algumas considerações:

- Os modelos “atômico-molecular” e “Rutherford-Bohr-Sommerfeld” são os que predominam nas representações dos LD;

- O maior número de representações dos livros B e D foram classificados no modelo atômico-molecular, ou seja, não consideram a constituição interna do átomo. Essas representações passam uma ideia simples das ligações químicas;

- Os LD A e C utilizam muitas representações que demandam o entendimento da constituição interna dos átomos. Neste tipo de representação é abandonada a figura do modelo maciço de Dalton (1803), considera-se a presença dos elétrons, detectados pelas descargas elétricas nos tubos de Crookes, resultando no modelo ‘pudim de passas’ (1904). Engloba ainda representações referentes ao modelo resultante da experiência de Geiger e Marsden (1909; 1913) com as partículas alfa, a qual demonstrou a inconsistência do modelo de Thomson e possibilitou, com auxílio de cálculos matemáticos, a proposição do modelo nucleado de Rutherford (1911). Estas representações também comportam a ideia dos níveis eletrônicos, relacionada ao modelo atômico de Bohr (1913), passando a tratar da ideia do compartilhamento de elétrons (SILVA, 2013; URBINA et al., 2008);

- O livro B, apesar de apresentar a maior parte das representações relacionada ao modelo inicial da teoria atômica, é o que mais emprega representações no modelo ondulatório, o que demonstra a ênfase dada a aspectos da mecânica quântica pela obra. Nestas representações estão os modelos mais recentes da ligação química, ou seja, a teoria da ligação de valência e a do orbital molecular. Portanto, em relação ao modelo atômico, estão implícitos: a quantificação da energia por Planck (1900), a mecânica ondulatória de Schrödinger (1916) e o princípio de Heisenberg (1927);

- As representações que não se associam a nenhum modelo são apresentadas com certa frequência pelos LD. Estas representações apenas indicam o elemento químico e a quantidade de átomos, não informam a respeito da distribuição dos elétrons ou da natureza da ligação química.

Matus, Benarroch e Nappa (2011) analisaram as representações referentes às ligações químicas, empregadas por LD de três níveis de ensino do sistema educativo argentino. Os dados mostram que nos LD para o nível de estudantes com 12 anos, as representações utilizam apenas os dois primeiros modelos. Em relação aos livros textos dedicados aos estudantes de 15 anos, aparecem representações de todos os modelos, sendo que predomina as do tipo Rutherford-Bohr-Sommerfeld. O mesmo resultado foi encontrado para os livros do nível universitário, no entanto, neste caso, houve um aumento de imagens do modelo ondulatório se comparado com os LD do nível anterior.

De maneira geral, o resultado que encontrado com os LD brasileiros corrobora com o divulgado pela pesquisa argentina, no que se refere aos livros textos destinados aos estudantes com faixa etária de 15 anos. Os autores observaram que a maior parte das representações implica no entendimento do átomo formado por um núcleo e partículas negativas, responsáveis por formar as ligações e manter os átomos unidos. Também destacam que nesse nível, mesmo que timidamente, os modelos atômicos subjacentes (Ondulatório e não se associa a nenhum modelo) são inseridos nas representações, possivelmente com a intenção de oferecer representações mais abstratas que utilizem conceitos da teoria quântica e que

constituam pontes para a aprendizagem em nível superior (MATUS; BENARROCH; NAPPA, 2011).

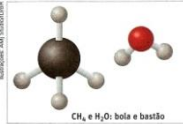


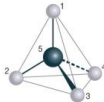

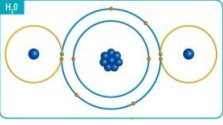
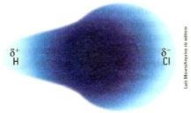
Comparando os modelos atômicos encontrados nos LD com o fundamento teórico analisado na categoria anterior, pode-se considerar que estão de acordo. Os LD fundamentam os conceitos utilizando representações baseadas, em sua maioria, nos modelos atômico-molecular e Rutherford-Bohr-Sommerfeld. Poucas referências são feitas às teorias mais atuais das ligações químicas, ficando grande parte conteúdo e das representações restritas aos modelos mais simplistas e em alguns casos distorcidos da constituição da matéria. Desta forma, é necessário que os LD avancem para uma abordagem mais atual e complexa das ligações químicas, apresentando mais relações com a teoria quântica em seus textos e representações.

Após a identificação dos modelos atômicos que embasam teoricamente as representações das ligações químicas, buscou-se conhecer as possíveis representações concretas utilizadas nos LD. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

Dentre as representações concretas do modelo 1, percebe-se que os LD analisados apresentam estruturas na forma de bolas e varetas, bem como fundidos. A primeira é uma representação tridimensional, que favorece a distinção entre os átomos representados por esferas coloridas e as varetas que são utilizadas para expressar as afinidades do átomo, pois não possuem significado eletrônico, visto que não consideram a constituição interna do átomo. O modelo fundido simboliza cada átomo como uma esfera, sem representar as ligações entre eles. De maneira similar, o mesmo sentido possui as representações concretas do tipo bolas, empregadas apenas pelos LD C e D.

Conforme mencionado, as representações do modelo 1 são fundamentadas no modelo atômico de Dalton e são úteis para explicar a distinção entre átomos, elementos e substâncias. Além disso, representam as trocas químicas, como reorganização dos átomos dos reagentes que aparecem em igual número e natureza nos produtos (MATUS; BENARROCH; NAPPA, 2011).

Tabela 10 - Exemplos e quantificação das representações concretas de cada LD

Modelo atômico	Representação concreta	LD	Número de Representações
1	Bolas e Varetas 	A	05
		B	03
		C	13
		D	15
	Fundido 	A	01
		B	05
		C	02
		D	01
	Bolas 	A	-
		B	-
		C	06
		D	01
2	Cunhas 	A	-
		B	-
		C	01
		D	-
	Lewis $:\text{N}:\text{:} + \text{:}\text{N}:\text{:} \rightarrow \text{:}\text{N}::\text{:}\text{N}:$	A	12
		B	-
		C	16
		D	08
	Diagrama de linhas 	A	16
		B	01
		C	16
		D	05
Níveis eletrônicos 	A	01	
	B	-	
	C	03	
	D	01	
3	Orbital molecular 	A	04
		B	05
		C	02
		D	02
4	Fórmulas	A	09
		B	02
		C	05
		D	08

Fonte: Autores.

Grande parte das representações encontra-se no modelo 2. Essas consideram a constituição interna do átomo e, em alguns casos, representam suas partes: núcleo e eletrosfera. Pelos resultados apresentados na Tabela 10, percebe-se que apenas o livro C apresenta representações do tipo cunhas, em que são indicadas as ligações que estão no plano, para frente e para trás do mesmo. Esse tipo de representação deveria

ser priorizado pelos LD, pois a ocupação espacial dos átomos é responsável por muitas características dos compostos que serão abordadas na continuidade dos estudos em Química.

As estruturas propostas por Lewis constituem uma das formas de representação mais utilizadas para o estabelecimento das ligações químicas e foram identificadas em quantidades razoáveis nos LD A, C e D. Elas geralmente são empregadas quando os estudantes estão começando a montar estruturalmente os compostos, dispondo os elétrons ao redor dos átomos e estabelecendo o número de ligações de acordo com a teoria do octeto.

Os diagramas de linhas constituem representações mais avançadas, nas quais os estudantes devem reconhecer em cada linha traçada o par de elétrons, além disso, mostram as ligações múltiplas dos compostos. Esse tipo de estrutura está presente em todos os LD, porém, muitas vezes com distorções nos ângulos das moléculas, como pode ser observado na estrutura (livro C) da Tabela 10. Certamente, o propósito dos autores é apenas indicar o compartilhamento de elétrons entre os átomos de hidrogênio e o de oxigênio na molécula da água. Contudo, considerando a eficácia das representações na elaboração de modelos mentais pelos estudantes, ela pode constituir um entrave que bloqueie a construção do conhecimento, o que Bachelard (1996) denomina de obstáculo epistemológico.

Sugere-se que os LD evitem este tipo de representação, substituindo-a por uma que apresente os elétrons não ligantes e o ângulo formado entre os átomos resultante de todas as forças que atuam na molécula. Apesar de essas informações não serem abordadas no momento, acredita-se que a construção de um modelo teórico coerente desde o princípio é mais eficiente no que se refere à aprendizagem.

As representações do tipo níveis eletrônicos fundamentam-se no modelo atômico de Bohr e estão pouco presentes nos LD, sendo que não foi encontrada no livro B. Conforme destaca Matus, Benarroch e Nappa (2011), esta representação se diferencia das anteriores por apresentar todos os elétrons constituintes dos átomos e não apenas os de valência.

De maneira geral, as representações do modelo 3 são pouco empregadas pelos LD, com exceção do livro B, que utiliza aportes da teoria quântica em cinco

representações, que corresponde a 31,3% do número total da obra. Os demais LD apresentam duas (livros C e D) ou quatro (livro A) representações desse tipo.

Enfim, as representações das fórmulas molecular/ unitária são empregadas por todos os LD e apresentam uma linguagem simbólica. Essas informam a respeito do número e tipo de átomos envolvidos nas ligações químicas.

### *1.2.2.3 Recursos visuais*

Ao total foram avaliados 200 recursos visuais, encontrados nos capítulos referentes às ligações químicas interatômicas, dos quatro livros didáticos (LD) aprovados pelo PNLD 2015. A distribuição por obra foi a seguinte: 34, 28, 81 e 57 imagens pertencentes aos livros A, B, C e D respectivamente.

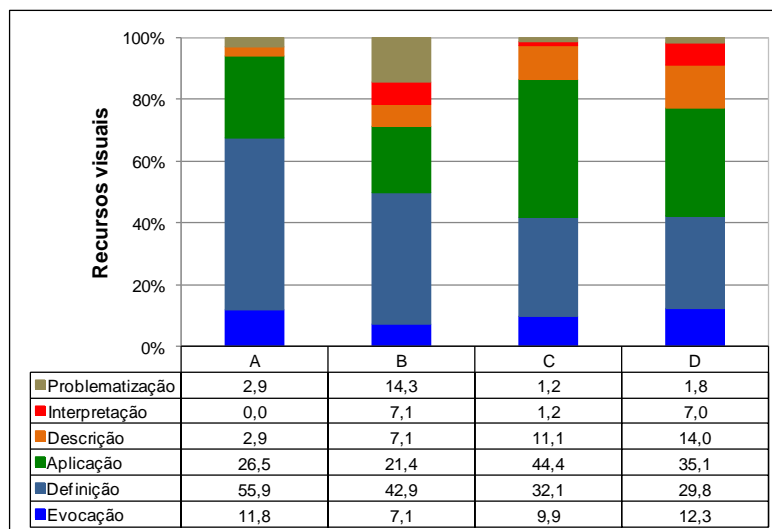
A imagem pode ser considerada uma complementação do sentido do texto. Em termos de aprendizagem, Carneiro, Barros e Jotta (2003) destacam que

Uma imagem pode auxiliar a aprendizagem de conhecimentos científicos. [...] É verdade que toda imagem passa uma mensagem, mas o seu uso na sala de aula, como um suporte à aprendizagem dos conhecimentos científicos e tecnológicos deve ser "orientado", caso contrário a interpretação do fenômeno ou objeto estudado pelos alunos pode ser muito distante do consenso científico vigente (CARNEIRO; BARROS; JOTTA, 2003, p. 1 e 2).

Os recursos visuais por si só não garantem a aprendizagem dos conceitos, por isso a sequência texto - ilustração - texto deve ser bem planejada. A análise da categoria sequência didática mostra que os LD utilizam parágrafos seguidos de imagens principalmente para definir um termo novo ou consolidar uma definição. Para a melhor visualização da quantificação dos recursos visuais em relação à sequência didática, a Figura 17 apresenta um gráfico que expõe as proporções de cada unidade elementar e os valores de seus respectivos percentuais. Por meio dessa análise, percebe-se que as unidades elementares definição e aplicação são as mais frequentes nos quatro livros analisados.



Figura 17 – Quantificação dos recursos visuais em relação à sequência didática



Fonte: Autores.

Nos LD A e B, aproximadamente 56% e 43% dos recursos visuais são utilizados para a definição dos conceitos. A Figura 18a (livro A) ilustra as forças de atração e repulsão entre elétrons e núcleos dos átomos que estão interagindo, conceito que está sendo desenvolvido no texto. A utilização de imagens para gerar conceitos se torna uma importante ferramenta para o ensino de ligações químicas, já que o conteúdo envolve noções que demandam elevada capacidade de abstração dos estudantes. Conforme aponta Martins (1997), muitas vezes, a própria conceitualização depende da visualização, o que é o caso dos conceitos relacionados às ligações químicas, por esse motivo o grande número de imagens deste tipo presentes nos LD.

Na Figura 18b (livro C) está representado um recurso visual utilizado para aplicar ou estender uma definição. Dentro do tópico ‘constituintes moleculares e amoleculares’, após a apresentação dos conceitos, das características e propriedades das substâncias reticulares, os autores utilizam a sequência texto - recurso visual com o propósito de exemplificar e reforçar o entendimento das unidades elementares constituintes dos sólidos covalentes.

Figura 18 - Exemplos de imagens quanto à sequência didática

**18a**

**Rede cristalina do diamante**

**Rede cristalina de quartzo**

**18b**

Sólido	Comportamento sob aquecimento	Solubilidade em água	Solubilidade em águas	Condutividade elétrica no estado sólido	Condutividade elétrica em solução aquosa
cobre	funde-se a 1 083 °C	insolúvel	insolúvel	bom condutor	///////
cloreto de sódio	funde-se a 801 °C	solúvel	insolúvel	mau condutor	bom condutor
sacarose (açúcar)	funde-se entre 185 e 186 °C	solúvel	insolúvel	mau condutor	mau condutor
naftalina	funde-se a 80 °C	insolúvel	solúvel	mau condutor	///////
diamante	convém diamante e grafite sólidos e carbono líquido = a 3 900 °C à pressão = 12,5 GPa	insolúvel	insolúvel	mau condutor	///////

**18c**

Fonte: LD analisados

Os LD utilizam poucas problematizações nos capítulos de ligações químicas. Apenas uma sequência didática com esse propósito foi encontrada nos livros A, C e D, e somente o livro B apresentou uma quantidade razoável (14%) de sequências desse tipo. A Figura 18c, retirada deste último, foi empregada para instigar o leitor sobre as distintas propriedades de algumas substâncias e o tipo de ligação química, por meio do seguinte questionamento “Qual é a relação entre essa variedade de propriedades e as ligações químicas presentes nos materiais?” (MORTIMER e MACHADO, 2014, p. 277). Essa questão não pode ser respondida com os tópicos apresentados até o momento, sendo necessária a continuação da leitura para que o estudante estabeleça alguma relação. Acerca da importância de situações problematizadoras, Cachapuz et al. (2011) afirmam que é nos problemas que se encontram uma das principais fontes de motivação, que criam nos alunos um clima de desafio intelectual, um ambiente de aprendizagem do qual as aulas de Ciências são carentes.

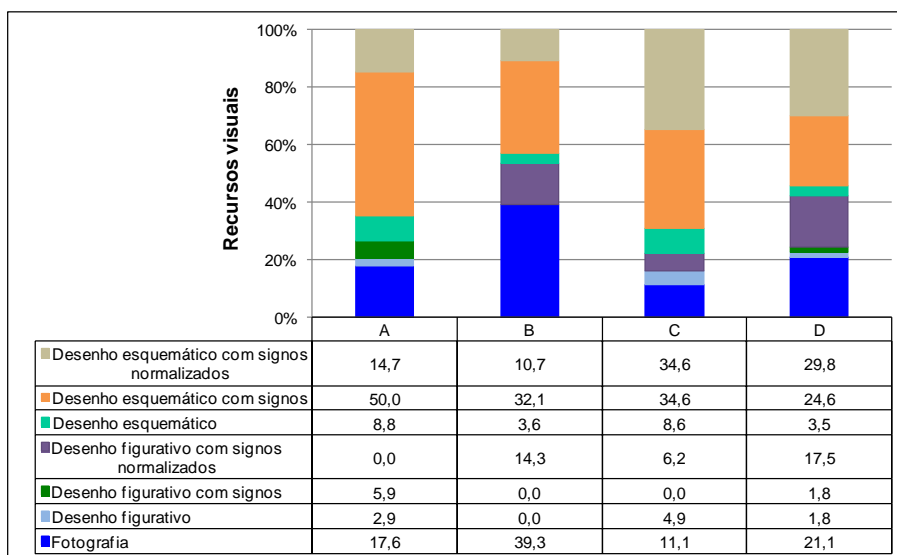
Em específico para o conteúdo de ligações químicas, a categoria iconicidade é uma das mais importantes. As imagens do tipo fotografia, que possuem o maior grau de iconicidade e menor nível de abstração, estão presentes em quantidades

consideráveis nos quatro LD (Figura 19). O livro didático B é o que apresenta maior número de imagens desse tipo, aproximadamente 40%, seguido pelo livro D com 21%.

Os desenhos figurativos, que valorizam a imitação da realidade, são pouco utilizados pelos LD. Por exemplo, as obras B e D apresentam 14% e 18% dos recursos visuais do tipo desenho figurativo com signos normalizados. Já os desenhos esquemáticos com signos, que representam ações submicroscópicas, constituem metade das ilustrações do livro A e mais de 30% das imagens dos livros B e C.

A unidade elementar desenho esquemático com signos normalizados é bastante frequente nos LD e exige a interpretação de vários códigos simbólicos. Para compreendê-las, os estudantes devem desenvolver a capacidade de abstração e transitar entre os níveis de representação da matéria, o que é indispensável para o estudo da Química.

Figura 19 – Quantificação dos recursos visuais em relação ao grau de iconicidade



Fonte: Autores.

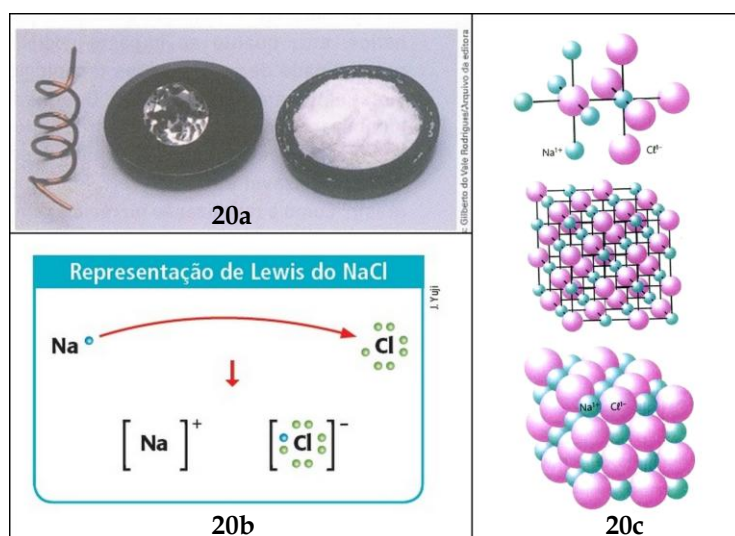
Uma constatação importante sobre a distribuição dos recursos visuais é a diminuição do emprego de imagens do tipo realistas. Pesquisas anteriores, como as desenvolvidas por Gibin, Küll e Ferreira (2009) e Silva, Braibante e Pazinato (2013) detectaram quantidades excessivas de imagens do tipo fotografia nos LD de

Química, durante a abordagem dos conteúdos equilíbrio químico e modelos atômicos respectivamente. Em alguns casos, ambas as pesquisas revelam que as fotografias representaram cerca de 60 a 70% dos recursos.

Apesar de a fotografia tornar a leitura mais atraente, a imagem não pode ser utilizada para mera ilustração, ela necessita de uma função didática que justifique seu emprego. Neste sentido, pode-se considerar que houve um avanço em relação à distribuição de imagem por unidade elementar, bem com a utilização de recursos visuais mais abstratos. Isso demonstra um maior planejamento didático na utilização das imagens e preocupação dos autores em desenvolver os conceitos a partir dos códigos simbólicos e normas específicas da Química, atrelados a modelos explicativos do universo submicroscópico das ligações químicas.

Segundo Silva e Martins (2008), o poder comunicativo da linguagem visual está relacionado à iconicidade, ou seja, a capacidade de uma imagem (ícone) representar uma realidade ou ideia, com maior grau de abstração. A escolha de cada imagem depende da sua consonância com as informações apresentadas e com o estímulo pretendido. No contexto das ligações químicas, foram encontrados recursos visuais com propósitos semelhantes, por exemplo, representar o cloreto de sódio, e com diferentes graus de iconicidade, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Cloreto de sódio representado com diferentes graus de iconicidade



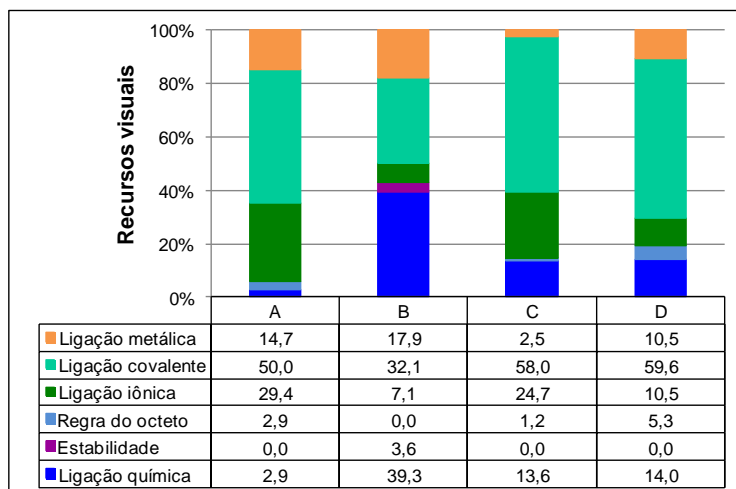
Fonte: LD analisados

As três imagens representam o cloreto de sódio com diferentes graus de iconicidade. Por intermédio de uma fotografia (20a), representação com maior grau de iconicidade, o livro B discute as elevadas temperaturas de fusão dos sólidos que, a exemplo do cloreto de sódio, mudam de estado físico rompendo interações muito fortes entre as partículas constituintes das substâncias. Com recursos mais abstratos e de menor iconicidade, os LD A e C representam o cloreto de sódio por meio de desenhos esquemáticos com signos normalizados. As imagens possuem regras específicas das ligações químicas e são utilizadas com fins distintos. A Figura 20b é empregada para auxiliar no entendimento da estrutura de Lewis e a Figura 20c para representar o retículo cristalino.

A opção por determinada imagem deve estar de acordo com o que se almeja da representação. Conforme já mencionado, os dois últimos exemplos (Figuras 20b e 20c) exigem um maior conhecimento do assunto, não sendo recomendados para introduzirem tópicos. Em contrapartida, como faz o livro C, a fotografia (Figura 20a) pode ser utilizada com o propósito de iniciar a discussão sobre o assunto. Consonante a isso, Matus, Benarroch e Nappa (2011) observaram que à medida que o nível de estudo avança as representações utilizadas pelos LD tendem a diminuir o caráter icônico. Ressalta-se que dependendo do objetivo didático, as imagens tanto realistas quanto abstratas podem constituir potenciais recursos pedagógicos.

A análise das imagens em relação ao conteúdo científico que as sustentam obteve o resultado apresentado na Figura 21. É perceptível que a ligação covalente é bastante enfatizada pelos LD analisados, nos livros C e D corresponde a quase 60% das representações visuais. Uma das prováveis razões para esse dado é a quantidade de conceitos que o tópico envolve, dos quais muitos são abstratos e demandam de recursos visuais para auxiliar no seu desenvolvimento. No que se refere ao número de ilustrações, a ligação metálica é pouco privilegiada nos quatro LD e uma quantidade razoável de imagens é utilizada na abordagem das ligações iônicas.

Figura 21 - Quantificação dos recursos visuais em relação ao conteúdo científico

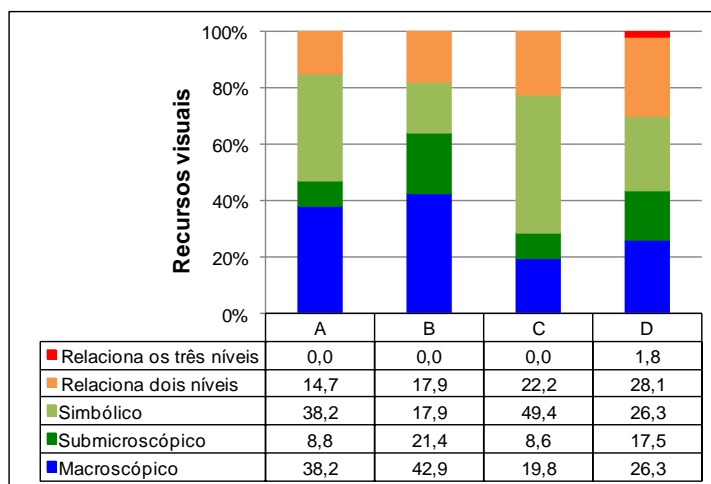


Fonte: Autores.

Por meio dessa categoria, detectou-se que o LD B é o único que não apresenta recursos visuais relacionados com a teoria do octeto. Os autores não mencionam essa regra durante o desenvolvimento das ligações químicas e as imagens da referida obra foram categorizadas na unidade elementar estabilidade química, pois relacionam a formação das ligações químicas com aspectos energéticos.

Considerando os níveis de representação da matéria, as imagens foram classificadas em cinco unidades elementares, conforme a Figura 22.

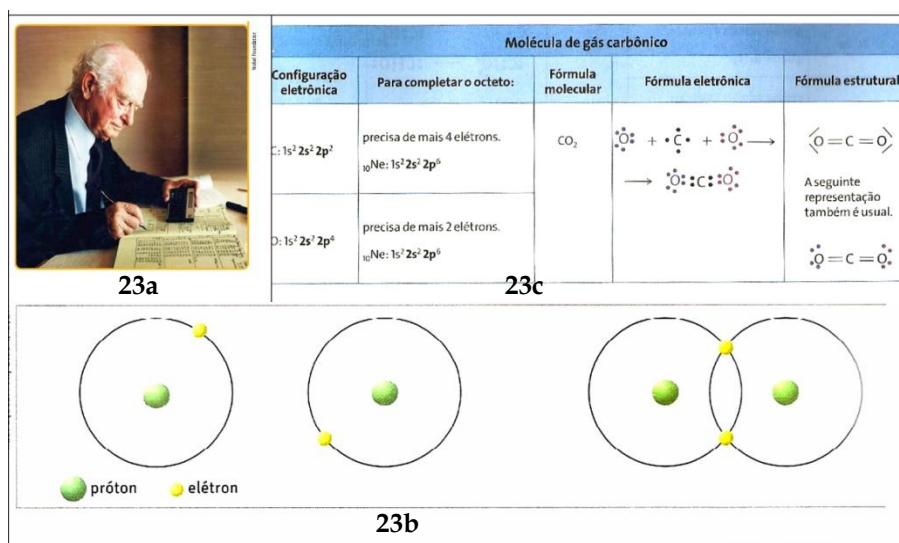
Figura 22 - Quantificação dos recursos visuais em relação aos níveis de representação



Fonte: Autores.

A maioria dos recursos visuais dos LD relaciona apenas um nível de representação da matéria. Em relação à unidade elementar macroscópico, as obras A e B são as que mais privilegiam aspectos observáveis e realistas, correspondendo a aproximadamente 40% de suas imagens. Em muitos casos, as imagens do nível macroscópico desempenham funções didáticas no ensino de ligações químicas, tais como: relação com a História, contextualização, exemplificação, entre outros. No entanto, esse tipo de recurso pouco auxilia no processo de abstração dos conceitos, tampouco no estabelecimento de relações entre os níveis de representação da matéria. A figura 23a (livro C) mostra uma foto de Linus Pauling e faz menção às suas contribuições para o estudo das estruturas e ligações químicas, principalmente pelo desenvolvimento da escala de eletronegatividade.

Figura 23 - Imagens de diferentes níveis de representação



Fonte: LD analisados

As imagens que privilegiam aspectos inobserváveis da matéria foram classificadas na unidade submicroscópica. A Figura 23b é utilizada pelo livro D durante a introdução do tópico ligação covalente e ilustra a formação da molécula de hidrogênio em termos submicroscópicos. Observa-se, pelos dados obtidos, que representações desse tipo são pouco utilizadas por alguns LD, porém elas são necessárias quando a intenção é propiciar aos estudantes compreensões e explicações

sobre o mundo que ultrapassem os conhecimentos provindos de observações macroscópicas. Conforme ressalta Sangiogo (2014), as imagens de partículas submicroscópicas exigem processos de apropriação e (re) elaboração de linguagens e pensamentos específicos às culturas da comunidade científica e escolar, mediante processos assimétricos de interação entre estudantes e professores. Neste sentido, é importante que os LD sejam fonte de representação submicroscópicas, assegurando ao processo de ensino e aprendizagem ilustrações que proporcionem imaginar e discutir aspectos inobserváveis em sala de aula.

O nível simbólico constitui a linguagem química, sendo responsável pela comunicação desta Ciência com o mundo. Sua importância retoma a época dos alquimistas, quando um conjunto de códigos foi elaborado e utilizado para as primeiras representações dos símbolos químicos. Muitos destes símbolos, como, por exemplo, o  $\Delta$  empregado para indicar o aquecimento, em transformações químicas, é utilizado até hoje (MAAR, 2008).

As ilustrações classificadas no nível simbólico apresentam símbolos e códigos específicos da Química, como se pode observar na Figura 23c (livro A), que emprega a configuração eletrônica e as diferentes fórmulas químicas do gás carbônico. Recursos visuais que contemplem esse nível são bastante utilizados pelos LD, tendo destaque os livros A e C, o que é uma consequência de sua importância na linguagem química.

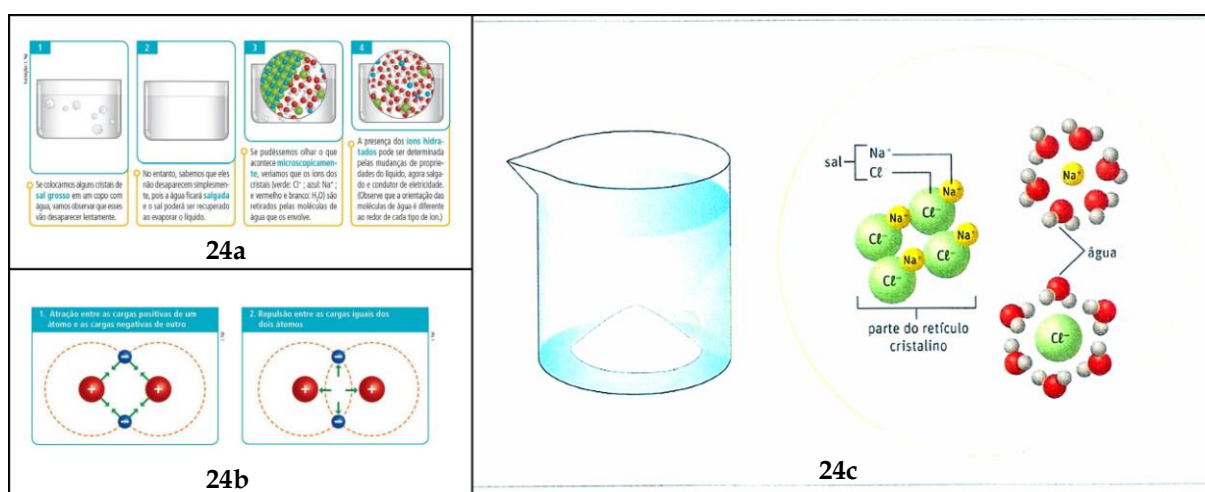
Chassot (1990) afirma que aprender Química é aprender a linguagem química. Para o autor, as três linguagens universais são a Química, a Matemática e a Música, pois qualquer equação química é igualmente interpretada por falante de qualquer idioma que conheça a Química. Portanto, é nesse ponto que se ressalta o fundamento de insistir no ensino de símbolos e códigos específicos utilizados pela comunicação científica.

As figuras que contemplam mais de um nível de representação são razoavelmente utilizadas pelos LD. De acordo com o gráfico da Figura 22, o livro D é o que apresenta maior número de recursos (28%) que relacionam dois níveis e o único que contém uma ilustração com os três níveis. Nos livros A, B e C as imagens que relacionam dois dos níveis contabilizam, respectivamente, cerca de 15, 18 e 22%.



Segundo Gibin e Ferreira (2013), o uso de imagens que apresentam os diferentes níveis de representação pode auxiliar no estabelecimento de relações entre a teoria e a prática no processo de imaginar fenômenos químicos. As Figuras 24a e 24b, pertencentes ao livro C, são exemplos de recursos que relacionam dois níveis. A figura 24c (livro D) relaciona os três níveis de representação da matéria.

Figura 24 - Imagens que contemplam mais de um nível de representação



Fonte: LD analisados

As Figuras 24a e 24b relacionam dois níveis distintos. A primeira enfatiza aspectos macroscópicos e submicroscópicos por meio do fenômeno do desaparecimento dos cristais de sal (NaCl) em água. A segunda correlaciona os níveis submicroscópico e simbólico durante a formação de íons, tópico considerado de difícil compreensão pelos estudantes do ensino médio, conforme mencionado anteriormente.

Essas duas representações possuem funções distintas para o entendimento das ligações químicas e dão significados aos conceitos, o que poderia ficar comprometido com a utilização de apenas um dos níveis. Conforme alerta Machado (2014), muitas vezes, os estudantes utilizam o nível simbólico de forma satisfatória e mecânica, entretanto quando o relacionam com os outros níveis (teórico e fenomenológico), podem se complicar nas explicações em nível atômico-molecular.

A Figura 24c faz referência ao processo de solvatação do sal de cozinha (NaCl) e emprega os três níveis de representação da matéria. Os aspectos observáveis ficam por conta da ilustração do copo com água e sal (depositado ao fundo do recipiente). O nível submicroscópico é ressaltado pela representação do retículo cristalino (correspondente ao sal em excesso) e dos íons livres (resultantes da solvatação) rodeados por moléculas de água. Além disso, são utilizados símbolos que permitem ao estudante identificar as substâncias envolvidas no processo.

Este tipo de representação deveria ser mais frequente nos LD de Química, em específico durante a abordagem das ligações químicas, já que perpassa os três níveis de representação da matéria. Independente do nível de instrução do ensino, fundamental, médio ou superior, a relação entre esses níveis é fundamental e as imagens dos LD constituem a principal fonte de acesso dos estudantes e professores.

### I.3 PERCEPÇÃO DOS PROFESSORES DOS NÍVEIS MÉDIO E SUPERIOR SOBRE O ENSINO DE LIGAÇÕES QUÍMICAS

A investigação com professores de diferentes níveis de ensino possui propósitos distintos. Por intermédio dos professores do ensino médio, busca-se conhecer o tratamento dado ao conteúdo de ligações químicas, suas escolhas tanto teóricas quanto metodológicas. Por meio da pesquisa com os professores universitários, almeja-se identificar suas expectativas e o nível de conhecimento dos ingressantes de cursos superiores sobre ligações químicas.

Desta parte da pesquisa participaram quatro professores da educação básica, que atuam no nível médio, em escolas federais, estaduais e particulares da cidade de Santa Maria, RS. A escolha dos professores se justifica por atuarem em escolas com realidades distintas, localizadas fisicamente distantes e em bairros com situações econômicas diferentes.

Em relação aos professores universitários, participaram dois professores do Departamento de Química (DQ) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Dentre os docentes do DQ, foram selecionados os que atuam em disciplinas introdutórias, ofertadas para o 1º semestre, dos quais, dois foram convidados: um

que ministra aulas para os cursos de formação de químicos e outro que trabalha com diferentes cursos, que não formam químicos.

Os professores da educação básica foram identificados por P (professor) seguidos por um numeral (P1, P2, P3 e P4). Os professores do ensino superior foram identificados pela sigla P<sub>U</sub> (professor universitário), seguido por um número (P<sub>U</sub>1 e P<sub>U</sub>2). O perfil profissional e o tempo de experiência dos professores são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 - Perfil e experiência profissional dos professores

Professor	Formação	Titulação	Tempo de atuação	Tipo de instituição
P1	Licenciado em Química	Especialista em Educação Ambiental Especialista em Educação Profissional Integrada à Educação de Jovens e Adultos	25 anos	Escola pública (estadual)
P2	Licenciado em Química	Mestre em Síntese Inorgânica Doutor em Educação em Ciências	9 anos	Escola pública (federal)
P3	Licenciado em Química	Mestre em Educação em Ciências	6 anos	Escola pública (estadual)
P4	Licenciado em Química	Mestre em Educação em Ciências	4 anos	Escola pública (estadual) e privada
P <sub>U</sub> 1	Bacharel em Química	Mestre em Química Doutor em Ciências Químicas	7 anos	Ensino superior federal
P <sub>U</sub> 2	Químico Industrial	Mestre em Química (Inorgânica) Doutor em Química (Inorgânica)	7 anos	Ensino superior federal

Fonte: Autores.

O perfil dos professores mostra que eles têm uma formação qualificada, todos possuem curso superior em Química além de pós-graduação. Os professores P1 e P3 continuam seus estudos e estão cursando mestrado e doutorado em Educação em Ciências respectivamente. Atualmente, apenas o professor P4 atua em instituições pública e privada. No entanto, a experiência profissional dos quatro professores da educação básica é vasta, pois todos afirmaram já terem atuado em escolas particulares, sendo que o professor P2 atuou 18 anos em cursos pré-vestibulares. É válido ressaltar que apenas o professor P1 não está trabalhando diretamente com o conteúdo de ligações químicas, pois, especificamente neste ano,

não está lecionando na 1ª série do ensino médio, em que o conteúdo geralmente é desenvolvido.

Os professores universitários trabalham com disciplinas introdutórias e básicas de Química, tais como Química Geral teórica e prática, Química Geral A e Química Básica para Engenharia, nas quais o conteúdo de ligações químicas faz parte da ementa. O professor P<sub>U1</sub> atua nos cursos de Química (Licenciatura, Industrial e Bacharelado), Engenharia Química, Engenharia Sanitária e Ambiental e Pós-Graduação em Química. O professor P<sub>U2</sub> atua nos cursos de Ciências Biológicas, Farmácia e Engenharias (diversas).

### **I.3.1 Entrevista com professores do ensino médio**

Após o aceite do convite para participar da pesquisa, os quatro professores foram entrevistados pessoalmente. A entrevista realizada pode ser caracterizada como semiestruturada, pois utiliza um roteiro previamente elaborado (Apêndice B). De acordo com Manzini (1991), a entrevista semiestruturada foca em um assunto sobre o qual é confeccionado um roteiro com perguntas principais, que podem ser complementadas por outras questões, que surjam de circunstâncias momentâneas à entrevista. Desse tipo de entrevista, pode emergir informações de forma mais livre e as respostas não estão condicionadas a uma padronização de alternativas.

As entrevistas foram realizadas em ambientes fora das escolas em que os professores atuam e na presença apenas do entrevistador e entrevistado. A princípio, o tempo estipulado para a duração da entrevista foi de 30 minutos, sendo que todas foram gravadas para posterior transcrição e análise.

O roteiro previamente elaborado é constituído por seis questões que tratam de aspectos considerados relevantes para a abordagem das ligações químicas no ensino médio, tais como: a importância do conteúdo para os estudantes, conceitos e conteúdos prévios para a aprendizagem do tópico, modelo de átomo e se seus alunos constroem a ideia de descontinuidade da matéria. Também, buscou-se conhecer as escolhas teóricas e metodológicas dos professores. Sobre a fundamentação teórica, eles foram questionados em relação aos conceitos de ligações químicas que

consideraram importante abordar e quais realmente conseguem abordar na 1ª série do ensino médio. A respeito das aulas de ligações químicas, eles responderam sobre materiais didáticos e livros de apoio que usam para elaboração das aulas, bem como estratégias de ensino que aplicam ou gostariam de aplicar. Por fim, foram indagados sobre as dificuldades mais frequentes dos estudantes durante o estudo das ligações químicas.

### **I.3.2 Entrevista com professores universitários**

A entrevista com os professores universitários foi por meio de um questionário estruturado e com perguntas abertas (Apêndice B). Esse instrumento foi utilizado pela facilidade e agilidade na coleta de dados, pois para ser respondido leva menos tempo que a entrevista.

Inicialmente, visitou-se a sala dos professores para uma breve explicação do objetivo da entrevista, bem como solicitar a autorização dos mesmos para a realização da pesquisa. Os questionários foram enviados para o endereço eletrônico dos dois professores com o propósito de facilitar a aplicação.

O questionário é constituído por três questões, as quais indagam sobre diferentes aspectos, como: a importância do conteúdo ligações químicas para as disciplinas que ministram; nível de conhecimento e dificuldades conceituais dos ingressantes; e suas expectativas em relação aos conceitos científicos relacionados às ligações químicas dos ingressantes.

### **I.3.3 Análise dos dados**

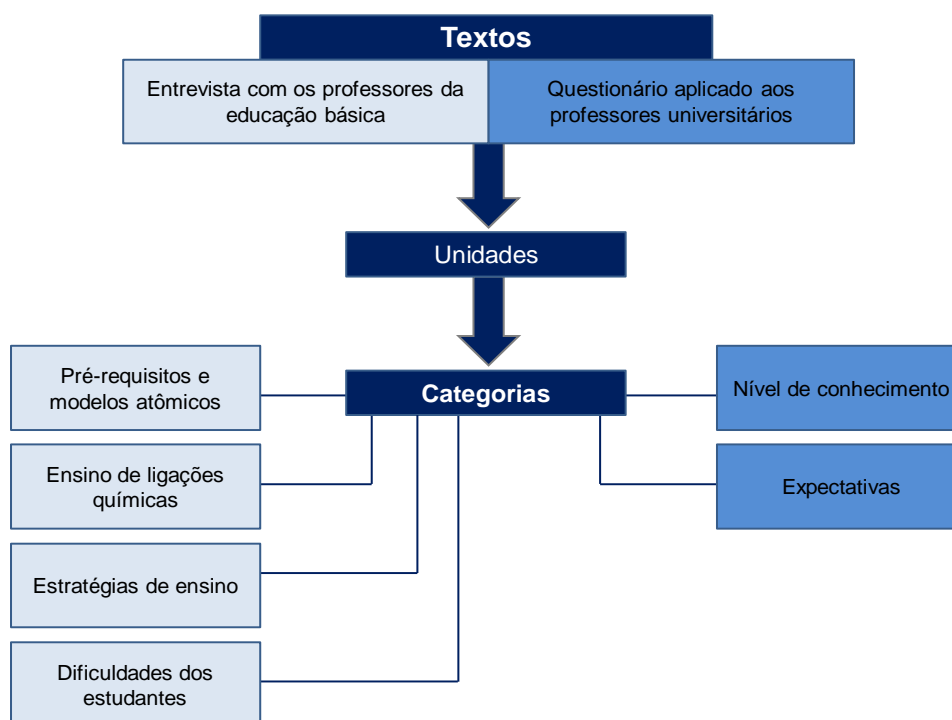
As respostas dos professores foram submetidas à análise de conteúdo (BARDIN, 1977). Segundo Severino (2007, p. 161)

É uma metodologia de tratamento e análise de informações constantes de um documento, sob forma de discursos pronunciados em diferentes linguagens: escritos, orais, imagens, gestos. Um conjunto de técnicas de análise das comunicações. Trata-se de se compreender criticamente o sentido manifesto ou oculto das comunicações (SEVERINO, 2007, p. 161).

Este método de análise possibilitou classificar as respostas dos professores do ensino médio e universitários em categorias, baseadas nos dados provenientes das respostas concedidas. Como os objetivos das investigações não são os mesmos, a partir do tratamento dos dados surgiram categorias distintas para os professores do ensino médio e universitários.

A técnica utilizada é conhecida como análise temática ou categorial, que consiste em operações de desmembramento dos textos em unidades (BARDIN, 1977). As unidades correspondem aos núcleos que dão sentido e constituem o texto. Após, as unidades que apresentaram assuntos semelhantes foram agrupadas em categorias. Na Figura 25 está o esquema do método de análise executado com as entrevistas dos professores.

Figura 25 - Método de análise das entrevistas dos professores



Fonte: Autores.

As respostas dos professores do ensino médio foram agrupadas em quatro categorias: pré-requisitos e modelos atômicos; ensino de ligações químicas; estratégias de ensino; e dificuldades dos estudantes.

Na categoria pré-requisitos e modelos atômicos, identificaram-se os conteúdos prévios que os professores consideram fundamentais para a aprendizagem das ligações químicas. Além disso, procurou-se conhecer o modelo atômico mais enfatizado em suas aulas, bem como detectar se estão passando a ideia de descontinuidade da matéria.

A categoria ensino de ligações químicas investigou aspectos relacionados à importância que os professores atribuem ao tópico, aos conceitos que consideram relevantes e aos referenciais utilizados para a seleção dos mesmos. A análise dessa categoria foi baseada nas tendências das concepções dos professores propostas por Guimarães, Echeverría e Moraes (2006), que são: conservadora, pragmática e transformadora. O Quadro 20 apresenta as características de cada tendência.

Quadro 20 - Tendências das concepções dos professores

Tendência	Características
Conservadora	Os conteúdos de ensino têm um caráter de permanência, sendo considerados óbvios e inquestionáveis, como os apresentados pelos livros didáticos.
Pragmática	Os conteúdos têm um caráter utilitário, isto é, devem ser úteis no dia a dia, resultando em ações condizentes dos sujeitos que os assimilam.
Transformadora	Os conteúdos têm um caráter formativo e constitutivo dos sujeitos, favorecendo tanto o desenvolvimento intelectual quanto a capacidade de intervenção na realidade.

Fonte: (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006, p. 312).

Na categoria estratégias de ensino buscou-se conhecer como os professores geralmente desenvolvem o conteúdo de ligações químicas. Neste contexto, eles foram questionados a respeito das metodologias que utilizam em suas aulas sobre o tópico, quais estratégias de ensino gostariam de adotar e porque não as empregam.

Para a análise das estratégias de ensino dos professores foi considerada a dimensão “Como ensinar”, para os modelos didáticos: Tradicional (T), Tecnológico (C), Espontaneísta (E) e Alternativo (A), de García Pérez (2000). As estratégias foram avaliadas em quatro critérios: metodologia, atividades, papel do aluno e papel do professor, levados em conta pelo autor quando apresenta os princípios básicos de cada modelo didático (Quadro 21).

Quadro 21 - Características dos modelos didáticos para a dimensão "Como ensinar"

Modelo didático	Dimensão "Como ensinar"
Tradicional (T)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia baseada na transmissão do professor;</li> <li>- Atividades centradas na exposição do professor, com apoio no livro didático e em exercícios de revisão;</li> <li>- O papel do aluno consiste em escutar atentamente, "estudar" e reproduzir nas provas os conteúdos transmitidos;</li> <li>- O papel do professor consiste em explicar os temas e manter a disciplina.</li> </ul>
Tecnológico (C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia vinculada aos métodos das disciplinas;</li> <li>- Atividades que combinam exposição e práticas, frequentemente na forma de descoberta dirigida;</li> <li>- O papel do aluno consiste na realização sistemática de atividades programadas;</li> <li>- O papel do professor consiste na exposição e no direcionamento das atividades em aula, além de manter a disciplina da classe.</li> </ul>
Espontaneísta (E)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia baseada na descoberta "espontânea" do aluno;</li> <li>- Múltiplas atividades (geralmente em grupos) de caráter aberto e flexível;</li> <li>- Papel central e protagonista do aluno;</li> <li>- O papel do professor é coordenar a dinâmica como líder social e afetivo.</li> </ul>
Alternativo (A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia baseada na ideia de "investigação escolar";</li> <li>- Trabalhar em torno de problemas, com sequência de atividades relativas ao tratamento destes;</li> <li>- Papel ativo do aluno, que constrói e reconstrói o conhecimento;</li> <li>- Papel ativo do professor como coordenador dos processos e como "pesquisador na sala de aula".</li> </ul>

Fonte: (GARCÍA PÉREZ, 2000, tradução nossa).

Por fim, os principais entraves para aprendizagem das ligações químicas na visão dos professores da educação básica foram investigados na categoria dificuldades dos estudantes.

As respostas dos professores universitários foram analisadas em duas categorias: nível de conhecimento e expectativas. Em relação à primeira categoria, os professores foram questionados no tocante às ligações químicas, como estão chegando à universidade os egressos do ensino médio e quais conceitos apresentam maior dificuldade. Na segunda categoria, expectativas, procurou-se identificar os conceitos que os professores do ensino superior esperam que os calouros de diversos cursos apresentem. O propósito dessa categoria é identificar a defasagem do estudo do tópico em nível médio, na visão dos professores universitários.



### I.3.4 Apresentação e discussão dos resultados

Inicialmente, serão apresentados os resultados da investigação com os professores do ensino médio e, na sequência, com os professores universitários, seguindo as categorias propostas na seção análise dos dados.

#### I.3.4.1 Investigação com os professores do ensino médio

Na categoria pré-requisitos e modelos atômicos, os professores entrevistados elencaram tópicos relacionados com a estrutura da matéria e tabela periódica, conforme o Quadro 22. Eles ressaltaram a importância da natureza das partículas subatômicas (P1), da distribuição eletrônica como instrumento para prever o número de ligações (P2) ou a quantidade de elétrons presentes nos níveis e subníveis dos átomos (P4), bem como as propriedades periódicas (P3 e P2), dentre as quais enfatizaram a eletronegatividade e reatividade.

Quadro 22 - Pré-requisitos para o conteúdo de ligações químicas

	Pré-requisitos	Justificativa
P1	- Átomo	<i>Eu acho que é fundamental o aluno ter uma boa noção da partícula fundamental que forma os materiais, ou seja, o <b>átomo</b> [...] e os subítens que existem nesse assunto, né? Quanto às partículas subatômicas, qual a interferência, origem, natureza...</i>
P2	- Distribuição eletrônica - Propriedades periódicas	<i>[...] com base na <b>distribuição</b> tu pode prever [sic], por exemplo, quantas ligações ele (elemento) tem que fazer para alcançar a estabilidade... <b>Propriedades</b>, especificamente <b>reatividade</b>, visando às reações inorgânicas futuramente, né? E a <b>eletronegatividade</b> visando o caráter iônico, covalente de uma ligação e também, as próprias ligações intermoleculares, né? Que o aluno tem que ter conhecimento de uma molécula polar ou apolar...</i>
P3	- Tabela periódica - Propriedades periódicas	<i>[...] as <b>propriedades periódicas</b> e a <b>tabela periódica</b> são conteúdos, assim, imprescindíveis para captarem como é que realmente funciona uma ligação química...</i>
P4	- Átomo - Tabela periódica - Distribuição eletrônica	<i>Acredito que começa a ficar importante, assim sério a partir do estudo do <b>átomo</b> [...] importante também demonstrar a evolução histórica desse assunto, para eles entenderem que a Ciência não é algo pronto... e, eles estão em uma idade que... é que tem que começar a abstrair, por isso a estrutura atômica é importante. Após, o assunto de <b>tabela periódica</b> [...] a parte da distribuição <b>eletrônica</b> que vai falar dos níveis e subníveis, também é uma coisa difícil para eles imaginar...</i>

Fonte: Autores.

Pelos conteúdos citados, percebe-se que os professores priorizam aspectos submicroscópicos, principalmente quando alertam para a importância do estudo do átomo, bem como simbólicos, ao mencionarem tópicos relacionados à tabela periódica. Assuntos referentes aos fenômenos macroscópicos, tais como estados físicos da matéria, transformações físicas e químicas, bem como propriedades dos materiais não foram considerados. Essa análise pode indicar que os professores enfatizam aspectos abstratos e representacionais em suas aulas, em detrimento ao estudo da Química a partir de aspectos observáveis.

Quando questionados sobre o modelo atômico, os professores disseram empregar modelos quânticos, relacionados aos cientistas Bohr (P3 e P4) e Sommerfeld (P1). O P2 não associou o modelo utilizado com cientistas, se referiu à utilização de “modelos que seguem a regra do octeto”. Considerando aspectos históricos, a teoria do octeto começou a ser aplicada nas ligações químicas em 1916, por Kossel no estudo da ligação iônica e por Lewis durante a pesquisa do compartilhamento de elétrons em moléculas apolares. Posteriormente, em 1919, foi popularizada por Langmuir, que acreditava que essa regra era mais importante que o compartilhamento de elétrons (SUBRAMANIAN; FILHO; SALDANHA, 1989; URBINA et al., 2008 ). Neste contexto, subentende-se que o P2 utiliza um modelo de átomo que se assemelha ao de Bohr, desenvolvido em 1913, assim como os demais professores.

Apesar de utilizarem representações atômicas nucleadas e com níveis energéticos, os professores admitiram que os estudantes não pensam na matéria como descontínua. Eles até representam os modelos com espaços vazios, mas conforme aponta o P4, parece que “[...] eles imaginam que a partir do momento que os átomos se ligam, esses espaços desaparecem”.

De acordo com Benarroch (2001), o vazio entre as partículas é um dos obstáculos epistemológicos para uma aprendizagem científica do modelo corpuscular da matéria. Em uma pesquisa, a autora traçou cinco níveis de esquemas explicativos para as ideias apresentadas por estudantes sobre o tema. Observou que nos dois níveis inferiores, o vazio se quer corresponde a um obstáculo, pois os estudantes não entendem o seu significado. A partir do terceiro nível, mesmo que de

maneira inconsistente, eles começam a apresentar uma noção do vazio. A autora ressalta que tem comprovado como a tarefa da compressibilidade do ar, experimento com a seringa, ajuda na aquisição desse conhecimento. Entretanto, percebe a necessidade de outros esquemas específicos relacionados com a diferenciação entre matéria e não matéria, para que a ideia de vazio seja significativa e possa ser aplicada em sólidos e líquidos.

França, Marcondes e Carmo (2009), fundamentadas em outros estudos, apontam que existe uma limitação na capacidade dos alunos ao iniciarem o estudo da Química em reconhecerem, em nível submicroscópico, o caráter descontínuo da matéria e suas entidades constituintes. Neste contexto, é necessário, além da representação descontínua da matéria, o desenvolvimento de atividades que relacionem os níveis submicroscópico e simbólico. Conforme alerta o P4, os estudantes representam os modelos mais atuais da teoria atômica, mas não transpõem o conhecimento da descontinuidade da matéria para as ligações químicas. Uma das razões pode ser a não abstração do tópico.

Na categoria ensino de ligações químicas, buscou-se conhecer as opiniões dos professores sobre a importância de ensinar o referido conteúdo. Além disso, realizou-se um levantamento dos conceitos que acreditam ser relevantes, bem como os referenciais ou critérios que utilizam para a seleção dos mesmos. A análise das respostas obtidas foi por meio das tendências das concepções dos professores propostas por Guimarães, Echeverría e Moraes (2006), que são: conservadora, pragmática e transformadora.

Os quatro professores consideraram importante ensinar o conteúdo de ligações químicas no ensino médio. Em suas respostas, identificaram-se concepções conservadora e pragmática, sendo predominante a conservadora.

#### - Tendência Conservadora

P1: *Eu acho muito importante [...] de modo geral, explica como houve a união dos átomos na formação das substâncias. É o cerne, a origem de tudo.*

P2: *Eu considero importante por que as ligações químicas... elas vão formar a base de todas as substâncias que nós temos hoje, né?(sic) [...] Já visando em outros conteúdos que também as ligações vão servir de base, como reação inorgânica, a geometria molecular, tudo isso...*

P3: *Olha primeiro, extremamente importante [...] com o fenômeno da ligação a gente explica praticamente toda a Química [...] facilita a compreensão de outros conteúdos que mais tarde virão né? (sic) É um pré-requisito para outros conteúdos que são também de grande importância.*

#### - Tendências Conservadora e Pragmática

P4: *Então, minha resposta é sim. [...] eu acredito que é o conteúdo que vai auxiliar os estudantes a compreender diversos aspectos no decorrer do estudo da 1ª, 2ª e 3ª séries do ensino médio e interpretar principalmente alguns fatos do cotidiano deles.*

Todos os professores apresentaram tendência conservadora quando expuseram uma visão utilitária das ligações químicas, parece que a razão de ensinar esse conteúdo é para que sirva de base ou instrumento para o entendimento de outros. O P2 ainda citou tópicos de caráter permanente, que são os conteúdos tradicionalmente trabalhados. O P4 apresentou as tendências conservadora, quando considerou como função do ensino de ligações químicas o entendimento de tópicos que serão abordados em outras séries do ensino médio, e pragmática quando associou aspectos do dia a dia dos estudantes.

Os professores não apresentaram a tendência transformadora, pois não consideraram que o conteúdo de ligações químicas favorece o desenvolvimento intelectual, de habilidades e competências dos estudantes.

A respeito do que acham importante ensinar e do que de fato ensinam, os conceitos elencados pelos professores são apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 - Conceitos elencados pelos professores do ensino médio

(continua)

	<b>Conceitos importantes</b>	<b>Conceitos que ensina</b>
P1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eletronegatividade</li> <li>- eletropositividade</li> <li>- energia</li> <li>- potencial de ionização</li> <li>- estados físicos da matéria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tabela periódica</li> <li>- eletronegatividade e eletropositividade</li> <li>- características físicas e químicas dos materiais</li> <li>- ligação iônica e covalente</li> <li>- valência</li> <li>- regra do octeto</li> <li>- repulsão e atração de elétrons em uma ligação</li> </ul>
P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- justificativa das ligações</li> <li>- estabilidade eletrônica</li> <li>- natureza eletrostática</li> <li>- eletronegatividade</li> <li>- ligação iônica e covalente</li> <li>- propriedades gerais dos compostos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- diferença de eletronegatividade para definir tipo de ligação</li> <li>- estabilidade</li> <li>- regra do octeto</li> <li>- natureza eletrostática</li> <li>- ligação iônica e covalente</li> <li>- teoria do orbital molecular</li> <li>- montagem de ligações via fórmula eletrônica</li> </ul>

## Quadro 23 - Conceitos elencados pelos professores do ensino médio

(conclusão)

	Conceitos importantes	Conceitos que ensina
P3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- regra do octeto</li> <li>- estabilidade</li> <li>- energia</li> <li>- fórmula de Lewis</li> <li>- Ligação iônica e covalente</li> <li>- diferença das propriedades dos materiais</li> <li>- carga formal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estabilidade</li> <li>- energia</li> <li>- regra do octeto</li> <li>- ligação iônica e covalente</li> <li>- fórmulas químicas (eletrônica, estrutural e molecular)</li> <li>- eletronegatividade</li> <li>- propriedades periódicas</li> </ul>
P4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- regra do octeto</li> <li>- natureza eletrostática</li> <li>- ligação iônica, covalente e metálica</li> <li>- características dos materiais por meio do tipo de ligação</li> <li>- orbitais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- formação de íons</li> <li>- natureza eletrostática</li> <li>- regra do octeto</li> <li>- ligação iônica, covalente e metálica</li> <li>- estrutura de Lewis</li> <li>- camada de valência</li> <li>- tabela periódica</li> <li>- características dos materiais por meio do tipo de ligação</li> </ul>

Fonte: Autores.

## Algumas considerações sobre os conceitos levantados:

- Os professores não priorizam o ensino da ligação metálica, apenas o P4 citou este tipo ligação. Quando questionados sobre, todos os professores admitiram não abordar essa interação com tempo suficiente para a construção de um modelo adequado pelos estudantes. Atribuem isso ao fato de deixarem este tipo de ligação por último ou à falta de conhecimento.

- Todos os professores consideraram a teoria do octeto como um conceito inquestionável para o estudo de ligação química, mesmo que possuam noção sobre suas limitações:

P1: *A regra do octeto é importante na medida que você consegue dominar certas ligações. E assim, ela não explica todas né? (sic)*

P2: *[...] teoria do octeto, porque no ensino médio nós trabalhamos basicamente com a teoria do octeto. Claro eu... por exemplo, comento com eles que existem elementos que não seguem a teoria do octeto.*

P3: *[...] não tem como fugir da regra do octeto, é um conceito que tem que ser... acho importante ser ensinado porque sem isso (sic), as vezes, fica incompreensível alguns tipos de ligações por parte dos estudantes.*

P4: *[...] estando certa ou não a regra do octeto, mesmo a gente ouvindo os professores da faculdade e coisas dizendo que não é a maneira mais correta, mas... eu acho importantíssimo.*

- Considerando os níveis de representação da matéria, os professores apresentaram conceitos relacionados com os três níveis. Pela análise detectou-se que a maior preocupação segue com os níveis submicroscópico e simbólico, pois foram mais citados. No entanto, em menor quantidade, apareceram os estados físicos da matéria e propriedades dos materiais, relacionados com o nível macroscópico das ligações químicas. A partir desse resultado, percebeu-se que a visão dos professores não está de acordo com as recomendações do referencial curricular do estado do RS, que priorizam o ensino a partir de aspectos macroscópicos, conforme o trecho:

Para favorecer a construção do conhecimento em Química, sugere-se partir das experiências e concepções dos alunos sobre o mundo macroscópico e daí seguir para a proposição de modelos explicativos em nível microscópico. O estudo das ligações químicas, por exemplo, pode ser iniciado com a identificação de propriedades das substâncias (como solubilidade, condutibilidade elétrica, pontos de fusão e ebulição, entre outras) e agrupamento destas por semelhanças e diferenças [...] (RIO GRANDE DO SUL, 2009, p. 118-119).

- Os professores P3 e P4 avaliaram os conceitos de carga formal e orbitais como importantes para o estudo das ligações químicas. Entretanto, não abordam esses conceitos por considerá-los complexos para o nível médio ou por estarem cogitando a possibilidade de inseri-los futuramente.

Os conceitos elencados pelos professores são praticamente os apresentados pela matriz de referência do ENEM. Também se assemelham aos descritos, por meio de competências, pelo referencial curricular do estado do RS. A fim de comparação, apresenta-se no Quadro 24 os conceitos relacionados às ligações químicas, indicados para 1ª série do ensino médio pelos dois documentos.

Quadro 24 - Referenciais curriculares do ENEM e do estado do RS para o conteúdo de ligações químicas

Matriz de referência ENEM	Referencial curricular do RS <sup>6</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metais e Ligas metálicas. Ferro, cobre e alumínio. Ligações metálicas.</li> <li>- Substâncias iônicas: características e propriedades. Substâncias iônicas do grupo: cloreto, carbonato, nitrato e sulfato. Ligação iônica.</li> <li>- Substâncias moleculares: características e propriedades. Substâncias moleculares: H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, HCl, CH<sub>4</sub>. Ligação Covalente.</li> <li>- Polaridade de moléculas.</li> <li>- Relação entre estruturas, propriedade e aplicação das substâncias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (L9) Compreender as ligações químicas como resultantes das interações eletrostáticas, que associam átomos e moléculas para dar às moléculas resultantes maior estabilidade.</li> <li>- (L9) Compreender a maior estabilidade de átomos de certos elementos químicos e da maior interatividade de outros, em função da configuração eletrônica.</li> <li>- (E2) Construir modelos explicativos da formação de soluções iônicas e moleculares usando lápis e papel.</li> <li>- (RP2) Analisar a estrutura molecular da água, tipo de ligações e geometria, e justificar os valores de PF e PE e a solubilização de diferentes grupos de substâncias presentes nas amostras de água.</li> </ul>

Fonte: (BRASIL, 2012; RIO GRANDE DO SUL, 2009).

Outro aspecto a ser levantado é em relação à influência dos LD na prática dos professores. Também, observou-se uma semelhança entre os conceitos elencados por eles e os apresentados pelos LD (ver Quadro 23, p. 154 e 155).

Os dados obtidos reforçam a ideia de que os LD juntamente com a matriz de referência do ENEM e o referencial curricular do estado do RS constituem as referências dos professores para a seleção dos tópicos abordados em aula. Essa constatação é reforçada pela resposta deles, quando questionados a respeito da sequência em que apresentam os conceitos do tópico ligações químicas, conforme os trechos a seguir:

P1: *Pois é, normalmente quando se começa as ligações químicas, até a ordem que a gente percebe nos livros didáticos, se começa com a iônica né? (sic) Que é a que prevalece... Cargas opostas se atraem daí (sic) nós vamos... a gente pensa na covalente (sic), polar, apolar e a metálica é a última, pobrezinha, e é bastante importante né?*

<sup>6</sup> O referencial curricular do estado do RS relaciona os conteúdos fundamentais e conceitos estruturantes com competências básicas e específicas da Química. As siglas: L, E e RP se referem às competências básicas ler, escrever e resolver problemas. Em relação às citadas no Quadro 24, fazem menção as seguintes competências específicas:

- L9. Reconhecer modelos explicativos de diferentes épocas sobre a natureza dos materiais e suas transformações.
- E2. Elaborar e sistematizar comunicações descritivas e analíticas pertinentes a eventos químicos, utilizando linguagem científica.
- RP2. Dada uma situação-problema, envolvendo diferentes dados de natureza química, identificar as informações relevantes e os procedimentos e estratégias adequadas para solucioná-la (por exemplo, avaliar a viabilidade de uma fonte de água para consumo doméstico, como recurso hidromineral, e refrigeração na indústria).

P2: *Em termos de ensino médio, se tu for (sic) pegar o programa do ensino médio, o programa que eles são cobrados em vestibulares, concursos e pré-vestibulares entra dentro o quê? Basicamente tu saber (sic) diferenciar uma ligação da outra [...]*

P3: *Eu sigo a sequência tradicional, apresentada pelos livros didáticos e também me baseei nos documentos oficiais.*

P4: *Isso é por que a ordem que os livros indicam né (sic)... então, eu acredito que por ser a ordem também que a gente tá (sic) acostumado sempre.*

Considerando os conceitos apontados, a sequência tradicional proposta e os referencias utilizados para seleção, identificou-se uma tendência conservadora para todos os professores. Os dados obtidos sugerem que eles apenas seguem a sequência indicada pelos LD ou pelos documentos oficiais ao ensinarem o conteúdo de ligações químicas. A seleção dos conceitos não parte do interesse dos estudantes, fatos históricos, temas atuais, contexto social entre outras opções.

A tendência conservadora também se manifestou no caráter dogmático atribuído a regra do octeto e na abordagem subestimada da ligação metálica. Além disso, percebeu-se que os professores enfatizam os níveis submicroscópico e simbólico em suas aulas, fazem poucas menções a aspectos observáveis, tais como solubilidade, condutividade elétrica, ponto de fusão, entre outros. Portanto, esta tendência caracteriza uma visão simplista em relação ao ensino de ligações químicas, na qual os conteúdos escolares são inquestionáveis e pré-requisitos para outros.

Em relação aos recursos didáticos, detectou-se que os LD constituem a principal fonte de consulta dos professores. Outros materiais como artigos, páginas da internet e apostilas de concursos pré-vestibulares também foram citados. Neste contexto, os professores foram questionados sobre o LD do PNLN que consultam no preparo das aulas (Quadro 25).

Quadro 25 - Livros didáticos adotados pelos professores do ensino médio

	Livro didático PNLN (2015-2017)	Livro didático
P1	Não lembra	Livros do autor Ricardo Feltre
P2	Ser protagonista do autor Murilo Tissoni Antunes	-
P3	Ser protagonista do autor Murilo Tissoni Antunes	-
P4	Química cidadã, dos autores Wildson Santos e Gerson Mol (coords.)	Livros dos autores João Usberco e Edgard Salvador (utilizado na escola privada)

Fonte: Autores.



O P1 não lembrou o LD adotado pela escola, alegou que no momento está lecionando apenas a noite e que neste turno não utiliza os LD. No entanto, o P1 utiliza como referência básica de suas aulas os livros do autor Ricardo Feltre, que não fazem parte das obras indicadas pelo PNLD (2015-2017). Os professores P2 e P3 utilizam a coleção Ser Protagonista, o P2 como também leciona em cursos pré-vestibulares, mencionou que utiliza as apostilas elaboradas com referência na matriz curricular do ENEM. Por fim, o P4, que atua nos sistemas público e privado, utiliza a obra Química Cidadã na escola estadual e os livros da coleção dos autores João Usberco e Edgard Salvador, que também não fazem parte do PNLD (2015-2017), na escola particular.

No Quadro 26 estão destacados alguns trechos das respostas dos professores, sobre as estratégias ou metodologias de ensino que utilizam ou que gostariam de utilizar no desenvolvimento das ligações químicas.

Quadro 26 - Estratégias de ensino citadas pelos professores do ensino médio

(continua)

Estratégias que utilizam	Estratégias que gostariam de utilizar
<p>P1: <i>Eu já utilizei, mas muito pouco... modelos moleculares para trabalhar ligações covalentes [...] nós nos preocupamos com a tridimensionalidade da molécula né (sic)?</i>  <i>Mas, não tive uma preocupação de trabalhar as ligações químicas de uma forma mais palpável com meu aluno [...] a minha aula sobre ligações químicas era tradicional.</i></p>	<p>P1: <i>Jogos didáticos. Modelos com material alternativo ou usar o próprio aluno... quando você faz um teatro... acho que funciona.</i></p>
<p>P2: <i>Modelagem de ligações... eu gosto de utilizar balões. Uma coisa que eu acho muito interessante é trabalhar em cima de exercícios na sala de aula, o aluno tem que bater em cima dos conceitos que ele tá vendo.... Aí tu faz (sic) uma pergunta aberta, do tipo dissertativa para o aluno ter que pensar e escrever sobre, não só marcar um x.</i></p>	<p>P2: <i>Gostaria de utilizar programas computacionais que usem noções tridimensionais. O laboratório de Química, ali no colégio é bom, embora a parte de ligações não tenha... mas, eu posso utilizar mais para de repente definir a condução de eletricidade... a polaridade da ligação covalente, aquele experimento da bureta, aí tu justifica quando um é polar e o outro não.</i></p>
<p>P3: <i>Seria o giz, seria o quadro, a explicação teórica. Apesar de eu dialogar bastante com meus alunos, eu gosto de perguntar bastante né? (sic) Gosto nesta parte de utilizar analogias também, mas geralmente improviso na hora.</i></p>	<p>P3: <i>Descarta um pouco a questão das atividades experimentais, porque eu acho que não se encaixaria a esse conteúdo atividade experimental, eu nunca vi. Mas, por exemplo, eu trabalho muito com estudo de caso, seria uma metodologia que eu com certeza poderia utilizar, porque é muito interessante e coloca mesmo o aluno no centro do processo educativo faz o aluno construir o conhecimento. A modelagem também acho que seria interessante, auxilia na questão do macro para o micro.</i></p>

Quadro 26 - Estratégias de ensino citadas pelos professores do ensino médio

(conclusão)

Estratégias que utilizam	Estratégias que gostariam de utilizar
P4: <i>Eu desenvolvo a atividade de laboratório, que é a famosa conduz ou não conduz a corrente elétrica né? (sic)... os alunos me enchem de perguntas e querem voltar nas aulas seguintes com mais materiais. Eles se interessam, teve uma menina que trouxe um xampu de uma marca e outro de outra marca sem sal. Rendeu muitas discussões. Na parte da ligação metálica, eu levo as amostras de metais que temos no laboratório, por exemplo. A partir daí começamos o estudo. Depois eu faço muitos exercícios.</i>	P4: <i>Gostaria de utilizar jogos didáticos para as ligações. Outras atividades, mais investigativas. Que os alunos manipulem soluções e misturas e comparem... esse tipo de coisa que na verdade não seria demonstrativa né? [...] O aluno como foco né, por que ele vai desenvolver e as conclusões serão tiradas a partir daquilo que ele tá observando e sentindo ali.</i>

Fonte: Autores.

A análise das estratégias de ensino dos professores foi baseada na dimensão “Como ensinar” de García Pérez (2000), em que foram consideradas as características atribuídas pelo autor para cada um dos seguintes modelos didáticos: Tradicional (T), Tecnológico (C), Espontaneísta (E) e Alternativo (A). No Quadro 27, são apresentados os resultados obtidos para as estratégias de ensino que os professores utilizam e para as estratégias que gostariam de utilizar.

Quadro 27 - Análise das estratégias dos professores do ensino médio

	Estratégias que utilizam				Estratégias que gostariam de utilizar			
	Metodologia	Atividades	Papel do aluno	Papel do professor	Metodologia	Atividades	Papel do aluno	Papel do professor
P1	T	C	T	T	C	C	C	C
P2	T	C	T	T	T	C	T	T
P3	T	T	T	T	A	A	A	C
P4	E	E	C	C	A	A	E	A

Legenda: T - Tradicional, C - Tecnicista, E - Espontaneísta, A - Alternativo.

Fonte: Autores.

Em uma primeira análise, cabe salientar que os professores propõem atividades diferenciadas ao modelo tradicional, na tentativa de proporcionar ao estudante um ensino construtivista. No entanto, suas visões não condizem com esta perspectiva quando se manifestam sobre o papel do aluno e do professor em sala de aula. Com isso, percebeu-se que os professores não possuem uma clareza

metodológica, já que demonstraram não conhecer os princípios do tipo de atividade que propõem.

As informações do Quadro 27 indicam que os professores misturam características dos diferentes modelos propostos por García Perez (2000). Outras investigações desenvolvidas com professores de Ciências e Química (GUIMARÃES; ECHEVERRÍA; MORAES, 2006; SANTOS JR.; MARCONDES, 2010; AYRES-PEREIRA, 2013) obtiveram resultados semelhantes e relatam que o modelo didático pessoal dos professores é eclético, ou seja, formado por uma mescla de concepções referentes aos diversos modelos descritos pela literatura.

Conforme exposto por Santos Júnior e Marcondes (2010), os modelos T e C estão de acordo com a tendência de transmissão cultural dos conteúdos e os modelos E e A estão próximos de uma visão construtivista do processo de ensino e aprendizagem. Nesta perspectiva, os modelos didáticos apresentados pelos professores entrevistados foram classificados em consistentes ou inconsistentes.

Os modelos didáticos dos professores P1 e P2 são consistentes, tanto em relação às estratégias que utilizam quanto às que gostariam de utilizar. Seus modelos didáticos são do tipo TC e C, o que permite inferir que a prática desses professores está alinhada a uma perspectiva mais tradicional de ensino. No contexto das ligações químicas, isto significa que o tópico está sendo desenvolvido por meio de atividades centradas no professor, com pouca participação dos estudantes e baseadas na exposição dos conceitos com auxílio do LD e exercícios de fixação (GARCÍA PÉREZ, 2000).

O professor P3 apresentou o modelo didático T no que se refere às estratégias que utiliza quando ensina ligações químicas. Em relação às estratégias que gostaria de desenvolver, o modelo do professor foi classificado como inconsistente do tipo CA. Nas manifestações do P3, identificaram-se características de dois modelos didáticos que apresentam fundamentos antagônicos, o que pode significar uma transição do professor para uma tendência mais avançada de ensino. O P3 propõe atividades baseadas em problemas, coloca o aluno como protagonista de suas investigações, porém concebe o professor como detentor do conhecimento e responsável pela exposição do conteúdo e organização das atividades. Neste caso,

percebe-se uma incoerência na visão do P3 em relação ao seu papel em uma perspectiva construtivista.

As estratégias de ensino que o professor P4 desenvolve durante a abordagem das ligações químicas foram classificadas como inconsistentes, já que constitui o modelo eclético CE. O P4 realiza diversas atividades, como, por exemplo, o teste da condução de eletricidade, nas quais utiliza uma metodologia baseada no descobrimento espontâneo do aluno, sendo flexível e levando em consideração o interesse dos estudantes. Em relação ao papel do aluno e do professor, o P4 apresenta ideias atreladas ao modelo C. No que se refere às estratégias que gostaria de empregar, seu modelo é consistente do tipo EA, caracterizado por atividades investigativas, focadas no estudante que manipula e realiza experimentos, tendo o professor como coordenador do processo.

Em geral, percebeu-se que estratégias de ensino que os professores gostariam de utilizar são mais avançadas em relação aos modelos didáticos (com viés C, E e A) do que as estratégias que utilizam (predomina T e C). Quando questionados a respeito do que os impede de desenvolver essas estratégias, as respostas foram condições de trabalho, carga-horária elevada e outras atividades paralelas à docência, como pode ser observado nas falas a seguir:

*P3: Eu tenho diversas atividades, tenho doutorado. Eu tenho todas as turmas do ensino médio para atender. Então, acaba (sic) que vou deixando, falta tempo de sentar para poder fazer, para poder planejar [...]. Estas atividades (se refere à modelagem e estudo de casos) desprendem um pouco de tempo para pensar em um caso, nas variáveis, tem que fazer com que o aluno construa o conhecimento [...]. Com certeza se eu recebesse pronto para aplicar seria perfeito.*

*P4: Não utilizo porque a minha carga horária de 60 h está bem complicada, então esse é o problema.*

Conforme o exposto, atualmente o ensino das ligações químicas vem sendo desenvolvido a partir de estratégias caracterizadas pelos modelos didáticos descritos na literatura como T e C. Neste contexto, os professores priorizam metodologias centradas na transmissão de conteúdos, com pouca participação dos estudantes.

Em relação à categoria dificuldade dos estudantes, os professores se mostraram preocupados com a abstração do tópico e relação entre os níveis de representação da matéria. Esse levantamento corrobora com a ênfase dada pelos docentes ao nível submicroscópico durante o desenvolvimento das ligações químicas, constatada anteriormente.

No que se refere aos conceitos propriamente ditos, foram citados: formação de íons, estabilidade química, modelos e natureza dos tipos de ligações, bem como montagem das ligações. No Quadro 28 está apresentado o trecho da entrevista e as dificuldades levantadas por cada professor.

Quadro 28 - Dificuldades dos estudantes no estudo das ligações químicas na visão dos professores do ensino médio

	Dificuldades dos estudantes	Trecho da entrevista do professor
P1	- Elevado nível de abstração do tópico	<i>Eu não saberia dizer exatamente um conceito [...] eu acho que o mais difícil para eles é perceber o nível de abstração desse conteúdo, por que uma ligação interatômica é o íntimo do material. É fazer a associação... lá do nível microscópico com o macroscópico, esse movimento, né? (sic)</i>
P2	- Montagem de ligações - Caráter das ligações	<i>Eu vejo uma dificuldade maior na montagem das ligações. Algumas vezes no caráter da ligação, talvez por não ter a base de eletronegatividade.</i>
P3	- Formação de íons - Estabilidade química - Energia	<i>Penso ser a parte da formação dos íons [...], parece que é muito abstrato o entendimento disso, entendeu? [...] Também a questão da energia e estabilidade, isso é muito abstrato.</i>
P4	- Natureza das ligações - Elevado nível de abstração do tópico - Transição entre os níveis de representação da matéria	<i>Compreender... eu acredito que seja quando se inicia o estudo da ligação iônica passa para a covalente que são dois átomos, entender que ela também é eletrostática, eu acho que essas seriam as dificuldades. Primeiro começar a abstrair o conteúdo. [...] a ligação vai exigir os três níveis, isso é o micro, o macro e o simbólico.</i>

Fonte: Autores.

O P1 relata que, em sua percepção, o problema está no princípio do estudo das ligações químicas no ensino fundamental. De acordo com o professor, este contato é muito precoce, no qual “o assunto é tratado muito rápido e sem pensar em sua profundidade conceitual”. O P1 ressalta que desse estudo precoce, ficam conceitos mal elaborados e concepções alternativas que são entraves para a aprendizagem no nível médio.

Na visão do professor P1, o primeiro contato do estudante com a Química deveria ser com aspectos macroscópicos, cita como exemplo as transformações físicas e separação de misturas. Essa constatação do P1 vai ao encontro do que afirmam Mendonça e Justi (2009b), as quais realizaram um estudo sobre a aprendizagem da ligação iônica e consideram não ser pertinente sua discussão na etapa anterior ao ensino médio. As autoras justificam essa observação, por não serem discutidos os

pré-requisitos necessários para o entendimento do modelo eletrostático no nível fundamental.

#### *1.3.4.2 Investigação com os professores universitários*

Os professores universitários consideram o conteúdo de ligações químicas de fundamental importância para as disciplinas que ministram. Eles justificaram sua posição, assim como os professores do ensino médio, por considerarem o tópico básico para o entendimento dos demais conteúdos de Química, constituindo um alicerce ou pré-requisito para a continuidade do estudo em suas disciplinas. Ressaltaram que por intermédio das ligações químicas é possível compreender o universo, incluindo as propriedades químicas e físicas da matéria. A análise das respostas dos professores universitários foi realizada em duas categorias: nível de conhecimento e expectativas.

A respeito do nível de conhecimento, detectou-se nas respostas dos professores, que os calouros chegam à universidade sem conhecimento sobre a natureza das ligações químicas, além de não estabelecerem relações entre o tipo de ligação e as propriedades da matéria. O professor P<sub>U1</sub> comentou que os estudantes compreendem que existem tipos de ligações químicas, sendo capazes de citar alguns exemplos clássicos. Ainda, mencionou sobre problemas relacionados com a representação química e determinação de fórmulas, conforme o relato:

*“[...] não conseguem estabelecer as relações entre estequiometria e estado de oxidação nos compostos iônicos, e representar as estruturas de Lewis para os compostos covalentes”.*

O professor P<sub>U2</sub> alertou para a falta de base nos conceitos fundamentais da Química. Ele percebeu que os estudantes falham em identificar a diferença entre átomos, íons e moléculas. O P<sub>U2</sub> associou a este problema a dificuldade dos estudantes em interpretar as teorias mais recentes das ligações químicas, como pode ser observado no trecho a seguir:

*“[...] as dificuldades existentes em conceitos básicos ficam ainda mais evidentes quando se dá o tratamento mecânico-quântico da ligação química. Muitos se preocupam em decorar macetes ou jargões e não conseguem interpretar a teoria de ligação de valência, muito menos a teoria do orbital molecular”.*

Os tópicos levantados pelos professores estão de acordo com os resultados encontrados em diversas pesquisas (FRANCO; RUIZ, 2006; PAZINATO; BRAIBANTE; MARCONDES, 2014) que revelam as concepções dos estudantes do nível médio a respeito dos conceitos fundamentais da Química. Segundo os professores entrevistados, os estudantes não estão superando estas defasagens nesse nível de ensino, passando para o ensino superior com os mesmos problemas conceituais que apresentaram na educação básica.

Em relação às expectativas, de maneira geral, os professores universitários esperam que os calouros compreendam a formação e os tipos de ligações químicas fundamentados nas propriedades periódicas dos elementos. O Quadro 29 apresenta trechos das respostas dos professores.

#### Quadro 29 - Expectativas dos professores universitários

Expectativas	
P <sub>U1</sub> : <i>Espero que os alunos sejam capazes de compreender a formação da ligação química, usando conceitos como afinidade eletrônica, energia de ionização e eletronegatividade. E que consigam representar a fórmula e estrutura química de compostos simples a partir da nomenclatura, reconhecendo o tipo de ligação química predominante.</i>	P <sub>U2</sub> : <i>Ficaria satisfeito se os calouros já conseguissem perceber a diferença entre um modelo de ligação por transferência de elétrons (ligação iônica) e um modelo por compartilhamento de elétrons (ligação covalente), e sua tendência periódica.</i>

Fonte: Autores.

#### I.4 SÍNTESES DOS RESULTADOS E IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA

Os resultados obtidos nestas investigações forneceram um panorama da situação do conteúdo de ligações químicas no nível médio. Em síntese, percebeu-se que os tópicos estabilidade química e natureza das interações entre átomos e íons estão sendo desenvolvidos de forma inadequada, por meio de modelos que

provocam distorções conceituais. A partir das investigações realizadas, inferiu-se que:

**- a formação das ligações químicas é justificada por meio da regra do octeto, sem considerar os aspectos energéticos;**

Após o ensino formal de ligações químicas, a presença de oito elétrons na camada de valência foi o critério mais utilizado pelos estudantes ao avaliarem a estabilidade química de espécies químicas. Dentre os quatro LD indicados pelo PNLN (2015-2017), três deles reforçam o estudo desta regra para justificar a formação das ligações químicas. Os professores entrevistados consideram a regra do octeto fundamental e admitiram utilizá-la para justificar a estabilidade química, em detrimento dos aspectos energéticos.

**- a natureza das ligações químicas é pouco enfatizada no ensino médio;**

A maior parte dos estudantes investigados não explicitou a natureza eletrostática das ligações químicas. Dentre os tipos de ligações químicas, detectou-se que um maior índice de estudantes contemplou as interações entre cargas na representação do composto iônico. Esse resultado sugere que nos demais tipos de ligação, o modelo eletrostático não é enfatizado. No que se refere aos LD, identificou-se que todos destacam a natureza eletrostática da ligação iônica, enquanto que para as demais ligações fica implícito o tipo de força responsável pela união e, em alguns casos, nem é mencionado. Dos quatro professores entrevistados, apenas dois afirmaram que ensinam as forças eletrostáticas.

Alguns problemas conceituais dos estudantes, que podem ser consequência do desenvolvimento inadequado da estabilidade química e natureza das interações interatômicas, foram identificados. Dentre eles, destacam-se:

- não diferenciam átomos e íons e, em muitas ocasiões, representam de forma semelhante essas entidades;

- a ligação iônica não é compreendida como uma interação entre íons, sendo utilizado um modelo semelhante ao covalente em sua representação;

- a ligação covalente não é interpretada como uma interação eletrostática entre núcleo e eletrosfera dos átomos ligantes;

- o modelo curricular da ligação metálica é o menos assimilado;



- não relacionaram as propriedades macroscópicas das substâncias com tipo de ligação predominante que une seus átomos ou íons.

Em relação às aulas de ligações químicas no ensino médio, os LD do PNLD (2015-2017) sugerem uma variedade de propostas didáticas, no entanto, elas carecem de um caráter investigativo. Os recursos visuais das obras empregam poucas sequências problematizadoras e a maioria relaciona apenas um dos níveis de representação da matéria, não auxiliando no desenvolvimento da capacidade de transição entre eles. Os professores desenvolvem o tópico de forma conservadora, sem apresentar a aplicação das ligações no cotidiano dos estudantes. A metodologia tradicional predomina nas aulas e o ensino está pautado na transmissão de conteúdos.

Estes resultados orientaram o planejamento e desenvolvimento das próximas atividades da presente pesquisa. Buscou-se elaborar intervenções baseadas na estabilidade química a partir de aspectos energéticos, bem como que conduzam os estudantes à construção de um conhecimento condizente com os modelos curriculares de cada tipo de ligação interatômica no nível médio.

No próximo item é apresentada a unidade II, que corresponde à segunda parte da pesquisa, na qual será investigada a construção do conhecimento em ligações químicas pelos estudantes do ensino médio.

## **UNIDADE II - A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM LIGAÇÕES QUÍMICAS NO ENSINO MÉDIO**

A investigação da construção do conhecimento em ligações químicas ocorreu por meio do acompanhamento de quatro turmas da 1ª série do ensino médio, que tiveram o conteúdo desenvolvido em dois contextos metodológicos: Sequência de Ensino e Aprendizagem e Ensino Tradicional. A seguir é apresentado o contexto da aplicação, a descrição das intervenções, os sujeitos da pesquisa, o método de coleta e análise dos dados, bem como os resultados e discussões.

## II.1 CONTEXTO DA APLICAÇÃO

Quando nos propusemos a pesquisar sobre a construção do conhecimento de tópicos relacionados ao conteúdo de ligações químicas no nível médio, alguns cuidados metodológicos foram tomados para que a pesquisa e o ensino não fossem prejudicados.

A respeito da pesquisa, considerou-se que as aulas não poderiam ser desenvolvidas pelo autor desta tese. Esta preocupação teve como propósito evitar a confusão entre o papel do professor e do pesquisador. Carvalho (2011) alerta sobre este cuidado, pois percebeu em pesquisas desenvolvidas por seu grupo, que quando o pesquisador analisava suas próprias aulas, a avaliação vinha carregada de outras informações que não diziam respeito ao que pesquisavam, mas que interferiam em suas análises.

Na tentativa de não comprometer a imparcialidade da presente investigação, as intervenções foram desenvolvidas pelos professores titulares das turmas pesquisadas, que foram os responsáveis pela coleta dos dados. Por uma questão de conveniência e por atuarem em escolas com realidades diferentes, os professores P3 e P4, que participaram da terceira investigação da unidade I, foram convidados a colaborar novamente com a pesquisa<sup>7</sup>. Os dois professores prontamente aceitaram o convite e se mostraram dispostos a repensar sua prática docente em relação ao conteúdo de ligações químicas.

Sobre o cuidado tomado com o ensino de ligações químicas, partiu-se do pressuposto que a pesquisa não deve prejudicar o andamento e programação das aulas, devendo-se moldar a realidade escolar. Levou-se em consideração que a 1ª série do ensino médio possui uma gama de conteúdos, dentre eles as ligações químicas, que devem ser trabalhados durante um período limitado. Para não interferir no planejamento letivo, conversou-se com os docentes sobre o tempo disponibilizado para o desenvolvimento da pesquisa em uma situação real de sala de aula, considerando os diferentes contextos.

---

<sup>7</sup> Os perfis dos professores podem ser consultados no Quadro 19, p. 145.

Na tentativa de contemplar a realidade escolar e situar os professores na investigação, as intervenções foram elaboradas em conjunto. Para isso, foram realizados vários encontros do autor desta tese com os professores a fim de traçarem objetivos comuns tanto para pesquisa quanto para o ensino do tópico no nível médio, além do planejamento e elaboração das atividades a serem desenvolvidas.

Durante o planejamento das atividades foram considerados os resultados obtidos na primeira parte da pesquisa e apresentados na unidade I desta tese, em que foram investigados a abordagem das ligações químicas nos LD, os problemas conceituais dos estudantes após a educação formal, bem como a percepção dos professores (inclusive do P3 e P4) sobre o assunto. Esse processo esclareceu aos docentes participantes desta parte da pesquisa, a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a parte conceitual de ligações químicas, o que foi feito por intermédio da leitura de capítulos de livros de Química Geral. Além disso, proporcionou a percepção da importância do conhecimento prévio das concepções dos estudantes, disponíveis em trabalhos da área de ensino, para a elaboração e fundamentação das atividades propostas.

Os sujeitos desta parte da pesquisa foram estudantes que estavam matriculados na 1ª série do ensino médio no ano de 2015, de duas escolas públicas estaduais da cidade de Santa Maria, RS. Cada professor elegeu duas turmas para participarem da pesquisa e o conteúdo de ligações químicas foi desenvolvido por meio de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem em uma turma e de forma tradicional<sup>8</sup> na outra. Ao total, participaram desta investigação quatro turmas escolhidas aleatoriamente pelos professores de Química das escolas. A seguir são apresentados os dois contextos investigados.

---

<sup>8</sup> Neste trabalho, entende-se por metodologia tradicional o desenvolvimento dos conteúdos por meio de aulas expositivas com apoio do livro didático.

## II.1.1 Sequência de Ensino e Aprendizagem

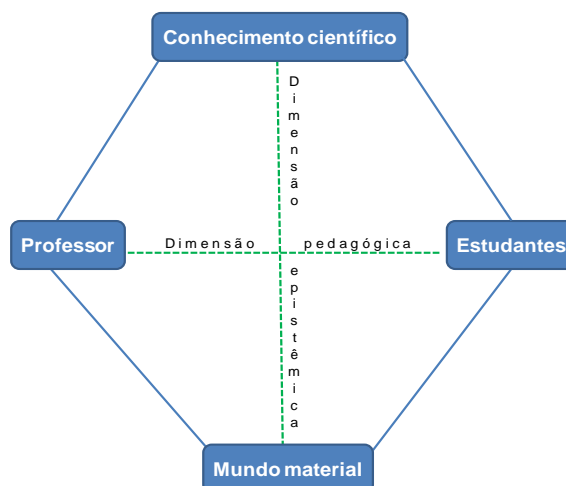
### II.1.1.1 Alicerce teórico

Diversas denominações, tais como unidade didática, sequência didática e sequência de ensino-aprendizagem, têm sido frequentemente utilizadas na área de ensino de Ciências para se referir a “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p. 18). Neste trabalho, optou-se por utilizar o termo Sequência de Ensino e Aprendizagem (SEA) proveniente do *Teaching-learning Sequences* proposto por Méheut e Psillos (2004), pois concordamos com os autores que esta terminologia melhor representa a estreita relação entre o ensino proposto pelos professores e a aprendizagem esperada dos estudantes.

Para a elaboração da SEA baseou-se nas orientações de Méheut (2005), Méheut e Psillos (2004), Leach et al. (2005) e Kabapinar, Leach e Scott (2004).

O propósito de elaborar uma SEA é auxiliar os estudantes na compreensão do conhecimento científico, em específico, neste caso relacionado com as ligações químicas. Consideraram-se como norte as dimensões epistêmicas e pedagógicas, que atendem quatro componentes básicos do processo de ensino e aprendizagem: o professor, os estudantes, o conhecimento científico e o mundo material (MÉHEUT, 2005; MÉHEUT; PSILLOS, 2004). Esses componentes estão interligados às duas dimensões conforme o diagrama do losango didático (Figura 26).

Figura 26 - Losango didático da SEA



Fonte: Méheut (2005).

O eixo vertical representa a dimensão epistêmica, a qual diz respeito ao conhecimento científico que será abordado e sua relação com o mundo material. Ao longo deste eixo podem-se encontrar suposições sobre método científico, processo de elaboração e validação do conhecimento científico. A dimensão pedagógica encontra-se no eixo horizontal e está relacionada com o papel do professor, bem como com as interações professor-aluno e entre os alunos. Essa dimensão preocupa-se com as ações dos sujeitos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem e com o entendimento dos conceitos científicos por parte dos estudantes.

De acordo com Leach et al. (2005) uma SEA envolve duas fases. A primeira é a fase de desenvolvimento, em que um grupo de professores e pesquisadores trabalha junto na elaboração de atividades e materiais de apoio da sequência. Os autores sugerem que as propostas sejam curtas, tendo duração de algumas semanas. A segunda fase é a de transferência, em que a SEA é aplicada nas salas de aula pelos professores participantes e/ou não participantes do grupo. Neste caso, optou-se que a SEA fosse aplicada apenas pelos professores que auxiliaram em sua construção. Essa escolha justifica-se pelo fato dos professores participantes conhecerem os resultados obtidos na primeira parte da pesquisa, que guiaram a elaboração da SEA, além de se ter uma maior confiança em relação à tentativa desses em seguir as

atividades conforme planejado. Isso seria dificultado se professores que não participaram das discussões prévias e do planejamento da SEA fossem inseridos.

É importante ressaltar que a SEA não é concebida como um roteiro e tampouco se espera guiar as ações dos professores em sala de aula. Neste sentido, reafirma-se nossa concordância com a posição dos autores, que consideram as sequências como mapas de planejamento que indicam pontos críticos aos professores, deixando-os livres para que encontrem sua própria forma de ensinar.

Kabapinar, Leach e Scott (2004) apontam para a necessidade de definir um contexto a ser problematizado na SEA. A problematização, no sentido que os autores atribuem, tem por objetivo fazer com que os estudantes apresentem suas ideias sobre o assunto. Eles ainda afirmam que devem ser exploradas aparentes limitações durante a explicação dos fenômenos analisados em sala de aula. E, posteriormente, devem ser apresentadas possibilidades para esclarecer os tópicos em dúvida com base nos modelos científicos. Desta forma, demonstrando como o conhecimento científico pode ser útil para que os sujeitos elaborem suas próprias explicações.

A partir do embasamento apresentado, considera-se a SEA como um procedimento encadeado de passos ou etapas interligadas com o propósito de tornar mais eficiente o processo de ensino e aprendizagem. De acordo com Pereira e Pires (2012), em seu planejamento podem ser intercaladas diversas estratégias e recursos didáticos, tais como: aulas expositivas, demonstrações, sessões de questionamento, atividades de resoluções de problemas, experimentos em laboratórios, jogos de simulação, textos, dinâmicas, fóruns e debates, entre outros.

Na bibliografia da área de ensino existe um consenso de que a SEA pode ser utilizada como uma ferramenta tanto de pesquisa como de ensino, dando suporte para estas duas abordagens (MÉHEUT; PSILLOS, 2004; MÉHEUT, 2005; SILVA; BEJARANO, 2013). Neste contexto, planejou-se um conjunto de atividades sequenciais, fundamentadas na modelagem e em situações problemas, para a abordagem das ligações químicas no nível médio.

### II.1.1.2 *Elaboração da SEA*

A SEA foi organizada tendo como base os critérios estruturantes propostos por Méheut (2005). Na dimensão epistêmica, procurou-se articular os conceitos essenciais para a compreensão da estabilidade química e natureza das ligações interatômicas. Esses tópicos foram escolhidos devido aos resultados obtidos na primeira parte da pesquisa e apresentados na unidade I deste capítulo, que os indicam como problemáticos na aprendizagem das ligações químicas.

A relação dos conceitos escolhidos com o mundo material se deu através do estudo das propriedades macroscópicas de substâncias presentes no cotidiano, que podem ser interpretadas submicroscopicamente pelo conhecimento científico abordado na SEA. Assim, a sequência foi planejada em quatro eixos: energia, ligação iônica, ligação covalente e ligação metálica.

Partiu-se da premissa que a transição entre os níveis de representação da matéria possibilita uma efetiva articulação entre o conhecimento científico e o mundo material. Considerou-se importante discutir os conceitos atrelados aos níveis de representação da matéria (JOHNSTONE, 1993, 2000), buscando estabelecer relações entre o observável (propriedades e fenômenos macroscópicos), a explicação teórica baseada em princípios e leis (aspectos submicroscópicos, tais como força de atração eletrostática, solvatação, organização de íons, entre outros) e a representação química (nível simbólico, por exemplo, fórmulas, equações químicas, modelos e gráficos).

Ao longo de toda SEA, levou-se em conta os conhecimentos prévios dos participantes sobre os tópicos em questão, interpretando-os com base na literatura da área. Também, muitas das atividades propostas tiveram por objetivo identificar lacunas na aprendizagem dos conceitos, para que o professor pudesse intervir no sentido de auxiliar os estudantes a superá-las.

Ainda dentro da dimensão epistêmica, elencou-se um objetivo geral para a SEA e objetivos principais para os quatro eixos, relacionados à construção do conhecimento de tópicos do conteúdo de ligações químicas. Cada eixo proposto possui um objetivo principal que contribui para alcançar o objetivo geral da SEA, conforme ilustra a Figura 27.

Figura 27 - Esquema da SEA



Fonte: Autores.

Além do objetivo principal, cada eixo possui objetivos específicos que contemplam aspectos importantes para o entendimento do conceito central. Os eixos partem de um problema inicial, ou seja, uma questão norteadora da investigação realizada pelos estudantes no decorrer das atividades. Esta questão inicial tem o intuito de inserir o caráter investigativo na SEA, dar sentido a busca pelo conhecimento, bem como conhecer suas ideias prévias sobre o assunto. O Quadro 30 apresenta os quatro eixos da SEA, seus objetivos e uma descrição resumida das atividades propostas.



Quadro 30 – Problema, objetivos e atividades dos eixos da SEA

(continua)

	Problema	Objetivos	Atividades desenvolvidas
Energia	Por que ocorre a formação de uma ligação química?	<p><u>Principal</u></p> <p>-Proporcionar o entendimento de que a formação das ligações químicas está associada a aspectos energéticos.</p> <p><u>Específicos</u></p> <p>-Relacionar a liberação e absorção de energia com a formação e rompimento das ligações químicas durante as transformações químicas.</p> <p>-Entender o conceito de estabilidade química como uma consequência da diminuição da energia potencial dos átomos.</p>	<p>- Atividade experimental: Energia envolvida na formação e rompimento das ligações químicas</p> <p>- Pesquisa em artigos e livros didáticos</p> <p>- Atividades modelagem: Construção de modelos que expressem a relação entre energia e formação de uma ligação química</p> <p>- Discussão e debates sobre o problema inicial</p>
Ligação iônica	Como ocorre a formação de um composto iônico?	<p><u>Principal</u></p> <p>-Compreender a ligação iônica como uma atração entre íons de cargas opostas, resultante da energia liberada na formação do retículo cristalino.</p> <p><u>Específicos</u></p> <p>-Rever os conceitos de íons, energia de ionização e afinidade eletrônica.</p> <p>-Elaborar o conceito de formação de íons a partir das propriedades periódicas.</p> <p>-Atribuir à estabilidade dos compostos iônicos a energia liberada durante a formação do retículo cristalino.</p> <p>-Proporcionar o entendimento dos fatores que contribuem para a energia do retículo cristalino.</p> <p>-Relacionar os níveis de representação da matéria.</p>	<p>- Atividade de modelagem: Um modelo para a atração entre íons</p> <p>- Pesquisa em artigos e livros didáticos</p> <p>- Discussão e debates sobre o problema inicial</p> <p>- Resolução de situações-problemas</p>
Ligação covalente	Como ocorre a formação de um composto covalente?	<p><u>Principal</u></p> <p>-Compreender a natureza da ligação covalente e a formação de compostos moleculares como resultante da energia liberada durante a aproximação de átomos.</p> <p><u>Específicos</u></p> <p>- Compreender a natureza dos diferentes tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividades.</p> <p>-Introduzir a ideia de caráter de ligação.</p> <p>-Relacionar os níveis de representação da matéria.</p>	<p>- Atividade de modelagem: Um modelo de atração entre átomos</p> <p>-Atividade de modelagem: Polaridade das ligações</p> <p>- Atividade experimental: Nem tudo que reluz é ouro</p> <p>- Pesquisa em livros didáticos</p> <p>- Discussão e debates sobre o problema inicial</p> <p>- Resolução de situações-problemas</p>

Quadro 30 – Problema, objetivos e atividades dos eixos da SEA

(conclusão)

	Problema	Objetivos	Atividades desenvolvidas
Ligação metálica	Como ocorre a formação de um composto metálico?	<u>Principal</u> -Compreender o modelo “mar de elétrons” como uma atração eletrostática, resultante da energia liberada pela interação entre íons (cátions) e elétrons. <u>Específicos</u> -Rever o conceito de energia de ionização dos metais para fundamentar a formação dos cátions. -Atribuir à estabilidade dos compostos metálicos a energia liberada durante a formação do retículo cristalino. -Abordar as propriedades dos sólidos relacionando com o tipo de ligação predominante. -Relacionar os níveis de representação da matéria.	- Atividade de modelagem: Um modelo de interação entre átomos metálicos - Atividade experimental: Verificação da condução de corrente elétrica - Atividade experimental: Aplicando força em diferentes sólidos - Pesquisa em livros didáticos - Discussão e debates sobre o problema inicial - Resolução de situações-problemas

Fonte: Autores.

Em relação à dimensão pedagógica, inicialmente consideraram-se aspectos relacionados aos papéis do professor e dos estudantes. Procurou-se envolver o aluno em todas as atividades da SEA, atribuindo-lhe um papel ativo na construção e reconstrução do seu conhecimento. Quanto ao professor, seu papel foi de coordenador das atividades, mediador das discussões e investigador das ações desenvolvidas em sala de aula.

A metodologia proposta apresentou um caráter investigativo, centrado em problemas e com uma sequência de atividades relativas ao seu tratamento. As aulas que compõem a SEA foram baseadas praticamente em situações problemas, que envolvem atividades de modelagem e experimentais.

Conforme ressaltam Pereira, Soares e Andrade (2011), para que uma atividade seja considerada investigativa, os alunos devem formular hipóteses, refletir e discutir em grupo, explicar os argumentos utilizados e relatar suas conclusões. Para tanto, o trabalho investigativo deve partir de um problema aberto que faça sentido para o aluno e possibilite a construção de um novo conhecimento.

Fundamentou-se na perspectiva de Meirieu (1998, p. 192) para a situação problema, “na qual se propõe ao sujeito uma tarefa que ele não pode realizar sem

efetuar uma aprendizagem precisa". O autor afirma que a aprendizagem, que constitui o verdadeiro objetivo de uma situação problema, ocorre quando os obstáculos são vencidos durante a realização da tarefa.

Uma das preocupações da dimensão pedagógica apontada por Méheut (2005) se refere às interações. O autor dirige a discussão principalmente para a necessidade de trocas entre o professor e os alunos e entre os próprios alunos. Além disso, se faz importante a interação dos sujeitos com o conceito científico, na busca pelo raciocínio da Ciência e na construção deste conhecimento. Desta forma, a atividade de modelagem surge como uma opção interessante.

A natureza abstrata das ligações químicas também contribuiu para que se pensasse na importância dos modelos para a Ciência. Tendo como base as inúmeras definições para o termo encontradas na literatura, escolheu-se a proposta por Santos Filho (2007, p. 5), que diz: "Na verdade, cientificamente, o termo modelo pode ser utilizado para expressar um conjunto de ideias que não têm existência física, mas que existe apenas na imaginação de alguém que as formula".

Mendonça (2008) a partir de uma revisão feita em artigos da área apresenta, em alguns tópicos, o interesse do ensino de Ciências em utilizar modelos, dentre os quais se destacam:

- serem a base do raciocínio científico;
- fundamentarem a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade;
- facilitarem a comunicação do conhecimento científico;
- atuarem como agentes que simplificam fenômenos complexos ou uma teoria;
- favorecerem a visualização de entidades abstratas.

Esses itens compõem pontos de interesse da dimensão pedagógica. As atividades de modelagem constituem uma forma de se conhecer os modelos mentais dos estudantes, produto de construções e interpretações pessoais dos conceitos, que podem se tornar públicos por meio de discussões e se materializarem em modelos expressos (GILBERT et al., 2000).

A inserção de atividades de modelagem no ensino tem como um dos objetivos favorecer a compreensão da centralidade do papel dos modelos na prática científica, como também o caráter dinâmico, humano e não linear da Ciência

(MENDONÇA, 2008). A atividade de modelagem compreende o seguinte processo não linear: elaboração, reformulação, teste e exploração das potencialidades de modelos. Justi e Gilbert (2002) desenvolveram o esquema intitulado “Modelo de Modelagem” (Anexo 1), que ilustra a relação entre as etapas mais relevantes na elaboração de modelos. Esse esquema é organizado em setas duplas, demonstrando que o processo não é unidirecional e que as etapas não necessitam ser seguidas linearmente.

Para o desenvolvimento da atividade de modelagem deve-se partir de um objetivo, que justifique a elaboração do modelo. Os autores falam da importância de ter experiências com o “alvo”, tanto em sua própria estrutura cognitiva quanto em fontes externas. Em paralelo a isso, é importante estabelecer um modelo base para a proposição do modelo em questão, ou seja, selecionar fontes, analogias ou recursos matemáticos, o que é chamado de “origem” do modelo. A partir destas etapas, ocorre a elaboração do modelo mental que será expresso.

O modelo expresso pode ser modificado se for necessário, para isso deve ser submetido a testes. A etapa dos testes ocorre por meio de experimentos mentais ou empíricos. No último caso, vários testes, na forma de atividades experimentais e de interpretação de dados empíricos de substâncias e fenômenos, foram inseridos na SEA para a validação dos modelos elaborados pelos estudantes.

Após a realização dos testes há duas possibilidades. A primeira é que o modelo proposto não explique e não seja compatível com os dados fornecidos ou obtidos nos testes, havendo necessidade de reformulações ou de rejeitá-lo. A segunda é que o modelo seja bem sucedido, forneça explicações e esteja de acordo com os dados disponibilizados ou obtidos. Por fim, o modelo é apresentado e discutido com a turma, se todos forem convencidos, será reconhecida sua validade.

Na dimensão pedagógica da SEA atentou-se para questões voltadas a interação entre os sujeitos do processo de ensino e aprendizagem, buscando a construção do conhecimento em ligações químicas por intermédio de situações problemas e atividades de modelagem e experimentais. Para isso, a SEA propõe diversas atividades, como: leitura de textos (artigos e LD), realização de

experimentos, modelagem, discussões em grupo, estudos dirigidos e resolução de situações problemas.

Assim, a SEA foi elaborada com base na proposta de Méheut (2005) e considerou as dimensões epistêmica e pedagógica de forma conjunta. O conhecimento científico e os sujeitos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem possuem a mesma importância, o que o autor caracteriza de uma perspectiva Construtivista Integrada. A seguir é descrita a SEA desenvolvida.

#### *II.1.1.3 Descrição da SEA*

A SEA foi aplicada em duas turmas da 1ª série do ensino médio de escolas públicas diferentes da cidade Santa Maria, RS. O professor P3 desenvolveu a SEA com 29 estudantes, com idades entre 14 e 17 anos, da escola X, localizada em um bairro da periferia do município. O professor P4 aplicou a SEA em uma turma com 19 estudantes, também com faixa etária entre 14 e 17 anos, da escola Y, situada no centro da cidade.

Antes de iniciar a SEA, os professores aplicaram o questionário A, pré-teste, (Apêndice C) para as turmas pesquisadas. O propósito deste instrumento foi caracterizar os estudantes, levantar suas concepções sobre as ligações químicas e conhecer suas opiniões a respeito da Química e do tópico em questão.

A seguir, são descritas detalhadamente as atividades desenvolvidas em cada eixo que compõem a SEA.

##### *II.1.1.3.1 Eixo 1: Energia*

Este eixo foi desenvolvido pelos professores em quatro aulas, com duração de duas horas cada (totalizando 8 horas/aula).

A primeira aula consistiu na aplicação individual do questionário B (Apêndice D) e na discussão do problema inicial com a turma. O questionário teve como propósito levantar as concepções dos estudantes sobre o motivo da maioria dos átomos encontrarem-se unidos na natureza, o significado de estabilidade química, a

relação entre energia e ligação química, bem como entre energia e estabilidade química. Posteriormente, cada professor discutiu com sua turma o problema inicial “Por que ocorre a formação de uma ligação química?” e solicitou aos estudantes que escrevessem suas ideias sobre a problemática inicial.

Na segunda aula foi desenvolvida a atividade experimental “Energia envolvida na formação e rompimento das ligações químicas”. O objetivo do experimento foi relacionar a formação e rompimento das ligações químicas com aspectos energéticos. A pretensão era que, a partir de evidências empíricas como a liberação e absorção de calor nas transformações químicas, os estudantes construíssem a ideia de que o abaixamento energético do sistema está relacionado com a formação de uma ligação química e que o aumento de energia do sistema está associado com o rompimento das interações entre os átomos.

Nesta atividade, os estudantes foram organizados em grupos e realizaram dois procedimentos que envolveram a formação e rompimento de ligações químicas acompanhados da absorção ou liberação de energia. O roteiro disponibilizado para auxiliar na execução do experimento e que contém as questões para que eles descrevessem suas previsões pode ser consultado no Apêndice E.

Como uma estratégia, no cabeçalho do roteiro foi retomada a questão inicial do eixo para lembrar os estudantes de buscarem indícios que os auxiliassem a respondê-la. Nesta atividade foram propostas duas reações químicas feitas em tubos de ensaio:

- no primeiro tubo de ensaio, foi perceptível o aumento da temperatura, consequência da liberação de energia da transformação exotérmica entre o ácido clorídrico e hidróxido de sódio;

- no segundo tubo de ensaio, foi perceptível a diminuição da temperatura, consequência da dissolução do cloreto de amônio em água, processo endotérmico.

O resultado esperado é que essa atividade, juntamente com as questões disponibilizadas no roteiro, contribua na construção da ideia de que as alterações de temperatura observadas nas transformações são consequência da liberação ou absorção de energia e estão relacionadas, respectivamente, com a formação das

ligações químicas na molécula de água no tubo 1 e ruptura das ligações do cloreto de amônio no tubo 2.

Uma das características das atividades de caráter investigativo é o aprendizado autodirigido, desenvolvido principalmente por meio do trabalho em grupo e de leituras em diferentes fontes bibliográficas. Sendo esse o contexto da atividade e considerando que os estudantes ainda não haviam estudado formalmente tópicos como transformações químicas e os aspectos energéticos envolvidos, foram disponibilizados dois textos<sup>9</sup> para cada grupo (Apêndice F), que sintetizam o assunto. Além de livros didáticos de Química da biblioteca das escolas, incluindo o livro do PNLD adotado pelo professor de cada turma.

A terceira aula iniciou com uma discussão a respeito da relação entre energia e estabilidade química. Neste momento, cada professor retomou as questões do roteiro e discutiu com sua turma sobre a formação e ruptura das ligações químicas associadas a aspectos energéticos. Após, foi desenvolvida a atividade de modelagem “Construção de modelos que expressem a relação entre energia e formação de uma ligação química”. Foi solicitado aos estudantes que se organizassem em grupos e representassem de forma concreta a energia envolvida em três situações: I - átomos completamente separados; II - átomos se aproximando; III - átomos muito próximos (constituindo uma ligação química). Para o desenvolvimento desta atividade foram disponibilizados os seguintes materiais: massa de modelar, palitos, molas, barbante, fio de cobre, caixas de papelão, entre outros.

Na quarta aula o professor retomou a questão inicial e os estudantes apresentaram os modelos construídos na aula anterior. O propósito desta discussão foi analisar os modelos elaborados para uma possível reelaboração caso seja necessária. As discussões deveriam levar a construção da ideia de que a formação de uma ligação química é sempre acompanhada de liberação de energia. Por fim, foi

---

<sup>9</sup> Os textos fornecidos aos estudantes são resumos elaborados a partir de dois artigos da revista Química Nova na Escola. A razão pela qual disponibilizamos os textos com um menor número de páginas foi para adequar o desenvolvimento da atividade ao tempo das aulas de Química. Os artigos que serviram de referência são:

- OLIVEIRA, R. J.; SANTOS, J. M. A energia e a Química. **Química Nova na Escola**, n. 8, p. 19-21, 1998.  
- BARROS, H. L. C. Processos Endotérmicos e Exotérmicos: Uma Visão Atômico-Molecular. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 241-245, 2009.

aplicado o questionário C (Apêndice G), que engloba situações semelhantes às abordadas em sala de aula. Este instrumento apresenta questões relacionadas:

- ao gráfico da energia versus distância entre núcleos dos átomos (situações que correspondem à aproximação dos átomos até a formação de uma ligação química);
- à relação entre aumento ou diminuição da energia do sistema com a ruptura ou formação de ligações químicas;
- ao conceito de estabilidade química;
- ao motivo dos átomos realizarem ligações químicas.

#### II.1.1.3.2 Eixo 2: Ligação iônica

Este eixo foi organizado em seis aulas, que tiveram duração de duas horas cada (totalizando 12 horas/aula).

Inicialmente foi aplicado o questionário D (Apêndice H), com o intuito de checar as ideias prévias dos estudantes a respeito do processo de formação de íons (em específico, do cátion sódio e do ânion cloreto) e da ligação iônica, da estabilidade do cloreto de sódio e do retículo cristalino. Em seguida, o professor apresentou o problema inicial “Como ocorre a formação de um composto iônico?” para a turma. Durante a discussão, foi abordado o próprio cloreto de sódio como exemplo, ou seja, o mesmo composto utilizado no instrumento aplicado anteriormente. O professor solicitou aos estudantes que anotassem suas ideias em seus cadernos, bem como apontou no quadro algumas concepções.

Na segunda aula, o professor abordou os conceitos de íons, energia de ionização e afinidade eletrônica. Optou-se por revisar esses tópicos, pois conforme algumas pesquisas apontam (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009; DE POSADA, 1999), geralmente, os estudantes apresentam dificuldades no seu entendimento, além de muitas propostas encontradas na literatura sugerirem o desenvolvimento da ligação iônica a partir deles (MENDONÇA, 2008; MELO, 2002). O professor forneceu valores da energia de ionização e afinidade eletrônica dos átomos de sódio e cloro, para que os estudantes pudessem interpretar a formação dos íons através de aspectos energéticos e das propriedades periódicas. Foi proposto um



exercício em que eles deveriam sugerir, a partir dos dados fornecidos, a espécie que formaria o cátion e o ânion bem como a representação destes íons (Apêndice I).

A terceira aula iniciou com a atividade de modelagem “Um modelo para a atração entre íons”, em que o objetivo foi abordar as interações que ocorrem entre os íons na formação do cloreto de sódio. Para esta atividade foram disponibilizados massa de modelar, palitos, folhas brancas A4 e lápis de cor para que os estudantes representassem os modelos. Após a construção dos modelos, o professor solicitou aos grupos que explicassem para a turma o modelo proposto, atentando para aspectos como: tamanho dos íons e cores distintas para as representações do cátion e ânion. A discussão abordou a atração eletrostática e a questão das cargas dos íons.

Como resultado da terceira aula, a maior parte dos estudantes construiu modelos do tipo “*NaCl - molécula*”, detectados por outros trabalhos (MENDONÇA; JUSTI, 2009a; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006; COLL; TREAGUST, 2003a). Nestas representações é apresentada apenas a interação entre um cátion sódio e um ânion cloreto. Desta forma, a quarta aula teve por objetivo fazer com que os estudantes construíssem um modelo para o cloreto de sódio sólido.

Para isso, os modelos construídos pelos grupos passaram por um teste de validade, a partir do fornecimento de evidências empíricas, como temperatura de fusão e energia liberada na formação das ligações. O professor disponibilizou dados relacionados com as propriedades físicas do cloreto de sódio e cloreto de hidrogênio (Apêndice J), e os estudantes tiveram a tarefa de explicar estas propriedades por meio da estrutura química (ligação química) dos dois compostos.

Somente com as informações disponibilizadas e com as estruturas dos compostos, os estudantes não conseguiram propor explicações coerentes. Eles perceberam a necessidade de aprofundar seu estudo sobre o assunto, para que pudessem compreender as propriedades físicas dos compostos embasados cientificamente.

A partir desta tomada de consciência, o professor forneceu novas informações relacionadas aos valores energéticos correspondentes à formação de uma ligação entre o sódio e cloro, bem como entre o hidrogênio e cloro. Para que estas informações fizessem sentido e levassem os estudantes a pensar em outra forma

de organização dos íons no cloreto de sódio, foram disponibilizados dados referentes à energia liberada na formação da substância cloreto de sódio (Apêndice K). A intenção desta atividade foi proporcionar aos estudantes a percepção de que as representações do tipo “*NaCl – molécula*” não fornecem subsídios para a explicação das propriedades físicas e macroscópicas do cloreto de sódio.

Por intermédio da comparação dos valores de energia liberados na formação de uma ligação entre os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e na formação da substância cloreto de sódio sólido, os estudantes tiveram condições de deduzir a ocorrência de mais de uma ligação neste composto. Estas discussões levaram os grupos a reelaborarem os modelos construídos para que os mesmos sejam capazes de explicar estes dados. Neste contexto, o resultado esperado era que os estudantes:

- compreendessem que a alta temperatura de fusão do cloreto de sódio sólido é consequência de mais de uma interação entre os íons, por isso há a necessidade de uma maior energia para o composto fundir;
- a energia liberada na formação do composto cloreto de sódio não é um cálculo automático do número de ligações entre os íons, já que devem ser consideradas além das atrações entre os íons de cargas opostas, as repulsões entre cátion-cátion e ânion-ânion;
- começassem a construir a ideia de retículo cristalino.

Após a reformulação dos modelos de cada grupo, o professor apresentou a teoria relacionada com o retículo cristalino através de um texto (Apêndice L), abordando a diferença entre os termos fórmula mínima e estrutura em rede. Durante esta abordagem, o professor propôs um estudo a respeito dos fatores que influenciam a energia reticular dos compostos iônicos. Uma nova situação problema, partindo da comparação entre as energias reticulares dos sais de cloreto ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{LiCl}$  e  $\text{CaCl}_2$ ), que podem ser consultadas no Apêndice M, auxiliou na abordagem deste tópico. O objetivo da discussão foi proporcionar a percepção da influência da carga e do raio dos íons na energia reticular.

Na quinta aula, o professor apresentou para a turma o Ciclo de Born-Haber, que considera várias etapas para o cálculo teórico da energia liberada na formação do cloreto de sódio (Apêndice N). A inserção deste tópico na SEA teve como propósito

reforçar a etapa de estabilização dos compostos iônicos, resultante da formação do retículo cristalino. Através do estudo do Ciclo de Born-Haber, o professor enfatizou que para a formação dos octetos eletrônicos (etapas correspondentes à formação dos íons) deve ser fornecida energia ao sistema, o que conseqüentemente não contribui para a estabilização do composto. Espera-se com essas informações que o aluno evite atribuir a estabilidade dos compostos químicos à regra do octeto (MORTIMER; MOL; DUARTE, 1994). Por fim, levando em consideração a estrutura em rede, foram discutidas as propriedades das substâncias iônicas, tais como altos pontos de fusão, condutividade elétrica e sua facilidade em quebrar (Apêndice N).

Na sexta aula foi retomada a questão inicial com a turma. O professor coordenou a discussão a partir do registro das concepções dos estudantes. Este confronto de ideias (concepções e ideias construídas ao longo do eixo) permitiu que os estudantes percebessem sua evolução conceitual em relação aos tópicos abordados. Posteriormente, foi aplicado o questionário E, que pode ser consultado no Apêndice O. Este instrumento investigou sobre formação de íons, retículo cristalino, fórmula mínima e fatores que influenciam a energia reticular.

#### II.1.1.3.3 Eixo 3: Ligação covalente

Para o desenvolvimento deste eixo foram necessárias seis aulas com duração de duas horas cada, totalizando 12 horas/aula.

Na primeira aula foi aplicado o questionário F (Apêndice P), que indagou a respeito de tópicos importantes para o entendimento da ligação covalente, tais como: estabilidade, eletronegatividade, compartilhamento de elétrons, estrutura atômica e densidade eletrônica.

Após, foi apresentado para turma o problema deste eixo “Como ocorre a formação de um composto covalente?”. Nesta discussão, o professor chamou a atenção dos estudantes para o fato de que a ligação covalente ocorre entre átomos e não entre íons como a ligação iônica. Além disso, solicitou a eles que anotassem em seus cadernos algumas sugestões de como acreditavam que poderia ocorrer a formação de um composto covalente.

A segunda aula iniciou com a proposição de um modelo, por parte dos estudantes, para a explicação de como ocorre a atração entre espécies neutras. Organizados em grupos, eles pensaram a respeito da formação da molécula do gás hidrogênio ( $H_2$ ) e expressaram um modelo para esta interação. A tarefa proposta foi:

*- Como ocorre a atração entre dois átomos de hidrogênio para a formação da molécula  $H_2$ ?*

*Lembre que na ligação iônica tínhamos íons de cargas opostas se atraindo (Lei de Coulomb). Aqui temos átomos, pense na estrutura atômica que estudamos anteriormente e proponha como dois átomos de hidrogênio podem se atrair se as espécies são neutras.*

O objetivo desta atividade foi esclarecer sobre a natureza eletrostática da ligação covalente. Neste caso, o elétron de um átomo é atraído pelo núcleo do outro e vice-versa. Nesta atividade, foram disponibilizados lápis de cor e folhas A4 para que os estudantes expressassem seus modelos. Ao final da aula, cada grupo entregou ao professor o esquema elaborado.

Na terceira aula foram discutidos os modelos sugeridos pelos estudantes para a formação da molécula de hidrogênio, abordando a atração eletrostática entre elétron e núcleo dos átomos participantes da ligação. Em seguida, o professor apresentou uma nova situação problema para os estudantes (Apêndice Q), com o propósito de introduzir o estudo da polaridade das ligações.

As temperaturas de fusão das moléculas  $H_2$  e HF foram fornecidas. Apesar de ambas serem gasosas, em condições ambientais, consequência de seus baixos pontos de fusão, existe uma considerável diferença entre estas temperaturas, resultante do tipo de interação que une os átomos. Neste contexto, foi proposto para cada grupo a elaboração de um modelo que represente as estruturas das moléculas supracitadas, capaz de justificar a diferença de temperatura de fusão observada. Para esta atividade foram disponibilizados os materiais: massa de modelar e palitos.

Após a elaboração dos modelos, cada grupo expôs suas ideias para turma. O professor buscou guiar as discussões para que os estudantes explicassem como os compostos se formam e o que influencia na diferença de temperatura de fusão descrita pela literatura.

A fim de fornecer subsídios para que os estudantes avancem em seu conhecimento a respeito do compartilhamento de elétrons, na quarta aula, o professor revisou o conceito de eletronegatividade e aplicou um exercício sobre densidade eletrônica (Apêndice R). Após, discutiu com a turma as consequências das diferenças de eletronegatividade durante o compartilhamento de elétrons, ou seja, o efeito da polarização das ligações covalentes (Apêndice S).

No encerramento da aula foi proposto um teste de validação dos modelos expressos pelos estudantes. Para isso, primeiramente eles tiveram que relacionar as propriedades físicas com o tipo de ligação predominante em cada um dos compostos:  $H_2$ , HF e NaCl; e por fim, rever os modelos elaborados e propor reformulações para que os mesmos expliquem as diferentes temperaturas de fusão de acordo com o tipo de ligação (Apêndice T). Neste momento, os estudantes puderam comparar as características dos tipos de ligação covalente e destes com a ligação iônica.

Na quinta aula foi desenvolvida a atividade experimental “Nem tudo que reluz é ouro”. Esta teve por objetivo discutir a solubilidade dos compostos utilizando os modelos de ligação iônica e covalente, bem como inserir a ideia de caráter parcialmente iônico ou covalente de uma ligação. Conforme aponta Lima e Núñez (2012) a compreensão do caráter parcial de uma ligação química é essencial para a proposição de modelos que subsidiem a aprendizagem dos alunos.

A atividade experimental teve um caráter investigativo e foi desenvolvida em grupo (Apêndice U). A referida atividade consiste na formação de um precipitado amarelo, constituído por pequenos cristais de iodeto de chumbo II ( $PbI_2$ ). Para cada grupo foram disponibilizadas soluções incolores de nitrato de chumbo II ( $Pb(NO_3)_2$ ) e iodeto de potássio (KI). Em um primeiro momento, esperávamos que os estudantes:

- reconhecessem a solubilidade dos reagentes da reação;
- propusessem um modelo que represente a dissolução dos sais: nitrato de chumbo II ( $Pb(NO_3)_2$ ) e iodeto de potássio (KI);
- reconhecessem o caráter iônico destes sais;
- observassem a baixa solubilidade do  $PbI_2$  (produto da reação);

- a partir dos aspectos macroscópicos observados, propusessem um modelo de retículo cristalino para o composto  $PbI_2$ .

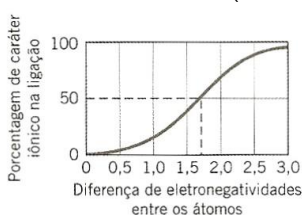
Os modelos de ligação iônica e covalente bem como a questão da solvatação foram úteis para a argumentação da solubilidade dos compostos. O professor apresentou uma discussão a respeito do conceito de solvatação (Apêndice V), em que explicou sobre a energia necessária para romper as interações em rede dos compostos iônicos, o que justifica a alta ou baixa solubilidade desses. Essas informações instigaram os estudantes a pensar a respeito do tipo de ligação dos compostos envolvidos na reação.

O professor iniciou uma discussão sobre os modelos de ligação química, introduzindo a ideia de caráter de ligação e que um mesmo composto pode apresentar características iônicas e covalentes devido à parcialidade de suas ligações. Este tipo de abordagem possibilitou uma melhor compreensão da função do modelo na Ciência, possibilitando assim, a percepção de suas limitações.

O objetivo desta discussão foi esclarecer a respeito das propriedades de alguns compostos que podem ser explicadas pela parcialidade do caráter de suas ligações químicas. Para tal fundamentação, foram considerados os valores das eletronegatividades estabelecidos por Linus Pauling em 1932 (PAULING, 1932). A partir deste embasamento se torna viável o cálculo para a determinação da porcentagem do caráter iônico de uma ligação. Seguindo essa linha de pensamento, a ligação iônica e a ligação covalente apolar representam dois extremos.

Uma ligação é majoritariamente iônica quando a diferença de eletronegatividade entre os átomos é muito grande. Neste caso, os elétrons da ligação química estão mais próximos do átomo com maior valor de eletronegatividade<sup>10</sup>. Na

<sup>10</sup> Pelo conhecimento dos valores das eletronegatividades de Pauling, pode-se calcular a variação na porcentagem de caráter iônico de uma ligação. A ligação torna-se cerca de 50% iônica quando a diferença de eletronegatividade é 1,7 (Gráfico), o que significa que os átomos na ligação adquirem uma carga parcial de aproximadamente + ou - 0,5 unidade (BRADY; SENESE, 2011).



ligação covalente apolar não há diferenças de eletronegatividade, de modo que o par é igualmente compartilhado. O grau ao qual a ligação é polar, que se pode imaginar como a quantidade de caráter iônico da ligação, varia de maneira contínua com a alteração de eletronegatividade.

Os compostos que apresentarem diferenças de eletronegatividade entre os átomos superiores a 1,7 apresentam caráter predominantemente iônico. Dentre deste contexto, a diferença de eletronegatividade entre os átomos de iodo e chumbo é 0,6, o que confere ao composto  $\text{PbI}_2$  um caráter parcialmente covalente. Esta constatação juntamente com o estudo da energia reticular e de solvatação forneceram subsídios para a compreensão da baixa solubilidade do composto em água e de um modelo de ligação coerente com suas características peculiares.

A abordagem dos modelos de ligações químicas fundamentada na eletronegatividade evita a delimitação de regras rígidas, como “a ligação iônica ocorre entre metal e não metal” tão presente nos LD. A classificação por meio destas regras impede o entendimento de características particulares de alguns compostos, que são provenientes da parcialidade do caráter da ligação. Além disso, podem induzir ao erro, pois é fácil pensar, por exemplo, no cloreto de alumínio como iônico. No entanto, de acordo com a diferença de eletronegatividade entre seus átomos, as ligações do  $\text{AlCl}_3$  apresentam caráter predominantemente covalente, o que permite explicar sua baixa temperatura de fusão quando comparado com outros cloretos ( $\text{NaCl}$  e  $\text{CaCl}_2$ ), predominantemente iônicos.

O objetivo desta atividade não se restringiu a classificação do  $\text{PbI}_2$  como iônico ou covalente, mas proporcionar ao estudante a compreensão de que suas características macroscópicas e propriedades podem ser interpretadas por intermédio destes dois modelos de ligação química.

Na sexta aula deste eixo, o professor retomou o problema inicial. A discussão partiu das concepções iniciais dos estudantes, que foram anotadas. A turma formulou uma resposta para o problema a partir do conhecimento construído nas aulas anteriores e para finalizar foi aplicado o questionário G (Apêndice W), que abordou os seguintes aspectos: natureza e propriedades dos tipos de ligações covalentes, solubilidade, solvatação e caráter das ligações.

#### II.1.1.3.4 Eixo 4: Ligação metálica

A aplicação deste eixo teve duração de seis aulas com duas horas cada (totalizando 12 horas/aula).

Na primeira aula, inicialmente foi aplicado o questionário H (Apêndice X), que indagou os estudantes sobre objetos metálicos que estão no seu cotidiano, características dos metais, energia de ionização, formação de íons e modelo de ligação metálica. Posteriormente, o professor apresentou o problema inicial deste eixo “Como ocorre a formação de um composto metálico?” e solicitou aos estudantes que apontassem suas ideias em seus cadernos.

A segunda aula iniciou com a apresentação de algumas propriedades dos metais, tais como: sólidos a temperatura ambiente, altos pontos de fusão e brilho característico, com o propósito de instigar os estudantes sobre um modelo de ligação capaz de explicar essas características. Para a fundamentação da construção do modelo de ligação metálica, julgou-se importante revisar a propriedade periódica energia de ionização. O professor trabalhou valores da primeira energia de ionização de alguns átomos do terceiro período da tabela periódica<sup>11</sup> a fim de que o estudante recordasse a importância dessa propriedade para o entendimento da capacidade dos metais em formar cátions.

A seguir, o professor propôs a atividade de modelagem “Um modelo de interação entre átomos metálicos”, que teve por objetivo proporcionar o entendimento de que o modelo eletrostático é responsável pela estabilidade das substâncias metálicas. Em grupos, os estudantes tiveram que propor uma interação energeticamente favorável que justifique a atração entre os átomos metálicos (Apêndice Y). Para o desenvolvimento desta atividade foram disponibilizados os seguintes materiais: folhas A4, lápis de cor, massa de modelar e palitos.

Na terceira aula, cada grupo apresentou para turma o modelo elaborado para representar as interações que ocorrem nos compostos metálicos. Sempre que possível, os professores direcionaram a discussão para o modelo de atração

---

<sup>11</sup> Os valores da primeira energia de ionização trabalhados foram os dos átomos de sódio, cloro e argônio, que são respectivamente: 496, 1256 e 1521 KJ.mol<sup>-1</sup>.



eletrostática, a fim de fazer com que os estudantes compreendessem a estabilidade como consequência da energia liberada durante a interação entre cátions e elétrons.

Carvalho e Justi (2005a) chamam atenção para a necessidade de justificar a estabilidade desse tipo de ligação. As autoras comentam que analisando LD brasileiros encontraram os mesmos resultados divulgados por uma pesquisa espanhola, em que a maior parte dos materiais apenas explica a atração recíproca entre cátions e elétrons. A ausência de uma justificativa relacionada à estabilidade do modelo pode levar os estudantes a questionar porque os átomos, quando perdem seus elétrons de valência, não se repelem, o que pode induzi-los a acreditar que raciocínios lógicos não se aplicam nesse caso.

Com o propósito de auxiliar na construção da ideia da atração eletrostática ou da presença dos elétrons livres, bem como testar a validade dos modelos propostos foi desenvolvida a atividade experimental “Verificação da condução de corrente elétrica” na quarta aula. Para a realização da atividade foi utilizado um dispositivo que indica a condutividade elétrica e as seguintes substâncias: cloreto de sódio, areia e limalha de ferro. A fim de auxiliar na resolução das questões lançadas no material elaborado para essa atividade (Apêndice Z), foram disponibilizados LD de Química para consulta.

Em um primeiro momento, os estudantes testaram a condutividade das substâncias no estado sólido e após em solução aquosa. Eles tiveram a oportunidade de comparar os diferentes sólidos, baseados no tipo de ligação química predominante em cada substância, e propuseram explicações a nível submicroscópico sobre suas observações. Neste contexto, os professores conduziram as discussões para que os estudantes associassem a condução de eletricidade da limalha de ferro à presença de elétrons livres nos compostos metálicos.

Após o desenvolvimento da atividade experimental, as propriedades dos sólidos iônicos, covalentes e metálicos foram discutidas em classe. Para isso, foi disponibilizado um texto (Apêndice AA) com informações a respeito das estruturas dos diferentes cristais, consequência do tipo de interação entre seus átomos.

O objetivo da quinta aula foi diferenciar o modelo de retículo cristalino iônico do metálico. Fernandes e Campos (2013) obtiveram resultados satisfatórios com uma situação problema semelhante a que foi proposta.

A atividade “Aplicando uma força em diferentes sólidos” consiste na aplicação de uma força externa, por exemplo, um golpe de martelo, em um objeto iônico (constituído por cerâmica ou barro) e em um metálico (lata de refrigerante). Os estudantes tiveram que explicar suas observações com base nas ligações químicas que ocorrem entre os átomos que constituem cada um dos materiais. O material elaborado para esta atividade pode ser consultado no Apêndice AB.

Na sexta aula foi retomado o problema inicial e discutido com a turma a partir das concepções anotadas na primeira aula deste eixo. Por fim, foi aplicado o questionário I (Apêndice AC).

### **II.1.2 Ensino Tradicional**

Semelhante ao procedimento utilizado com a SEA, o desenvolvimento do conteúdo de ligações químicas de forma tradicional foi acompanhado em duas turmas da 1ª série do ensino médio das escolas dos professores colaboradores. Na turma da escola X, do professor P3, havia 24 estudantes matriculados com faixa etária entre 14 e 18 anos. A turma da escola Y, do professor P4, era composta por 18 estudantes, como idades entre 15 e 17 anos.

Nestas turmas, os professores consideraram as orientações de Perez (2000) para o modelo didático tradicional, já caracterizada neste trabalho no Quadro 1, página 49. Além disso, foram considerados os mesmos objetivos referentes à aprendizagem dos estudantes elaborados para a SEA (Figura 27, p. 174).

Foi utilizado o mesmo número de aulas que no contexto da SEA (22 ao total), ou seja, quatro aulas para o eixo 1 (Estabilidade química) e seis aulas para cada um dos tipos de ligações interatômicas, que correspondem aos eixos Ligação iônica, Ligação covalente e Ligação metálica. Nesse contexto, foi utilizado como recurso o quadro de giz, livros didáticos, bem como exercícios disponibilizados nesses materiais ou pelos professores.

## II.2 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados por meio de instrumentos escritos, tais como questionários, exercícios e produções textuais, bem como gravações em áudio das aulas. Essa diversidade de instrumentos produziu um volume considerável de informações, sendo que para a presente investigação, julgou-se suficiente focar a análise nos questionários respondidos individualmente pelos estudantes.

Ao total foram dez questionários aplicados antes, durante e após o desenvolvimento do conteúdo de ligações químicas em sala de aula, o que correspondeu ao período de agosto a dezembro do ano de 2015. No Quadro 31 está caracterizado cada instrumento utilizado para a coleta de dados.

Quadro 31 - Caracterização dos questionários

Questionário	Característica	Localização	Período de aplicação
A	Pré-teste. Levantar dados pessoais, informações escolares, opiniões sobre a Química e concepções sobre as ligações químicas.	Apêndice C	Antes do desenvolvimento do conteúdo ligações químicas
B	Questionário inicial sobre estabilidade química e energia.	Apêndice D	Antes do desenvolvimento dos tópicos: energia e estabilidade química.
C	Questionário intermediário sobre estabilidade química e energia.	Apêndice G	Durante o desenvolvimento do conteúdo ligações químicas
D	Questionário inicial sobre a ligação iônica.	Apêndice H	Antes do desenvolvimento do tópico ligação iônica
E	Questionário intermediário sobre a ligação iônica.	Apêndice O	Durante o desenvolvimento do conteúdo ligações químicas
F	Questionário inicial sobre a ligação covalente.	Apêndice P	Antes do desenvolvimento do tópico ligação covalente
G	Questionário intermediário sobre a ligação covalente.	Apêndice W	Durante o desenvolvimento do conteúdo ligações químicas
H	Questionário inicial sobre a ligação metálica.	Apêndice X	Antes do desenvolvimento do tópico ligação metálica
I	Questionário intermediário sobre a ligação metálica.	Apêndice AC	Durante o desenvolvimento do conteúdo ligações químicas
J	Pós-teste. Questionário final sobre: estabilidade química e energia, bem como ligação iônica, covalente e metálica.	Apêndice AD	Após o desenvolvimento do conteúdo ligações químicas

Fonte: Autores.

Os questionários foram previamente discutidos com integrantes do grupo Laboratório de Ensino de Química - LAEQUI, da UFSM, com o propósito de validá-los. Nessa ocasião, foram realizadas algumas alterações para adequar as questões às pretensões da investigação.

Os participantes desta parte da pesquisa, de ambos os contextos, responderam aos questionários em momentos diferentes. O questionário A (pré-teste) foi aplicado aos estudantes antes de iniciar as aulas correspondentes ao conteúdo de ligações químicas. Os questionários B, D, F e H foram aplicados antes do desenvolvimento em sala de aula dos tópicos estabilidade química, ligações iônica, covalente e metálica respectivamente. Já, os questionários C, E, G e I foram respondidos após a abordagem desses tópicos em sala, durante o período destinado ao conteúdo de ligações químicas. Por fim, o questionário J foi aplicado após o término do desenvolvimento do conteúdo nas classes pesquisadas. A intenção era que esse fosse aplicado, pelo menos, um mês após a última aula correspondente ao conteúdo de ligações químicas. Porém, devido às várias situações controversas<sup>12</sup> que ocorreram nas escolas estaduais gaúchas no segundo semestre de 2015, o cronograma da presente pesquisa foi atrasado e o questionário teve que ser aplicado apenas uma semana após o fim das intervenções.

### II.3 SUJEITOS DA PESQUISA

Ao total participaram desta parte da pesquisa 90 estudantes de quatro turmas da 1ª série do ensino médio: 48 deles tiveram o conteúdo de ligações químicas desenvolvido por meio da SEA e 42 de forma tradicional.

Alguns estudantes não participaram de todas as aulas referentes ao conteúdo de ligações químicas. Com isso, estabeleceram-se dois critérios de exclusão:

---

<sup>12</sup> Durante a aplicação da pesquisa ocorreram diversas paralisações, indicativos de greve e um longo período de aulas reduzidas, chamado de operação tartaruga, consequência dos protestos dos professores ao parcelamento de salários proposto pelo governo estadual. Além disso, uma das escolas teve seu prédio atingido pelas fortes chuvas ocorridas no mês de outubro de 2015, o que paralisou as atividades por duas semanas.

*1º) não responder a dois ou mais questionários;*

O estudante que não respondeu a dois ou mais questionários não foi considerado para a análise dos dados, pois se julgou que as informações coletadas não eram suficientes para as análises. Além disso, nesta situação, o estudante não compareceu a no mínimo duas aulas do período destinado ao conteúdo de ligações químicas, o que pode influenciar no seu rendimento e interferir nos resultados da pesquisa.

*2º) não responder aos questionários A, C, E, G, I ou J;*

Os questionários citados correspondem a três momentos distintos da pesquisa. O estudante que não respondeu a um desses foi excluído, pois inviabiliza a caracterização do perfil epistemológico em uma das fases da pesquisa.

A partir desses critérios, o número de sujeitos da pesquisa foi restringido. Dos 90 participantes iniciais, foram considerados 50 estudantes para a análise dos dados. Esses responderam pelo menos nove dos dez questionários, contemplando a obtenção de dados em todas as fases da investigação. Considerando os dois contextos, dos 48 estudantes das turmas que participaram da SEA foram analisados os questionários de 29. Em relação às turmas do contexto tradicional, dos 42 estudantes foram analisados 21 deles. Uma breve caracterização dos sujeitos de cada contexto é exposta nos próximos itens.

### **II.3.1 Sujeitos do contexto da SEA**

A Tabela 11 apresenta o número de participantes e sujeitos da pesquisa das duas turmas em que a SEA foi desenvolvida.

Tabela 11 - Número de participantes e sujeitos da pesquisa do contexto da SEA

<b>Escola/Professor</b>	<b>Participantes</b>	<b>Sujeitos</b>
X/P3	29	22
Y/P4	19	07

Fonte: Autores.

Na escola Y, o número de sujeitos ficou reduzido em decorrência da assiduidade dos estudantes. O professor P4 atribuiu a baixa frequência dos alunos ao período de aplicação da SEA, que coincidiu com as paralisações e aulas reduzidas, conforme já comentado. Segundo o professor, estas ações prejudicaram a sequência das aulas, dificultaram a coleta de dados e desestimularam muitos estudantes.

Os 29 sujeitos frequentavam as escolas no período vespertino. A maioria estava cursando pela primeira vez a 1ª série do ensino médio (27) e nunca tinham reprovado (20). A faixa etária dos sujeitos era entre 14 e 17 anos e a idade média 14,96 anos. Neste grupo de alunos, 19 são do sexo feminino e 10 do masculino.

A maioria deles (28) considerou importante estudar Química e algumas justificativas foram: o entendimento do cotidiano por meio da disciplina, adquirir conhecimento, os avanços na saúde e tecnologia proporcionados pela Química, etc. Em relação ao conteúdo de ligações químicas, apenas 13 estudantes afirmaram já tê-lo estudado no ensino fundamental e 16 não haviam estudado.

### II.3.2 Sujeitos do contexto tradicional

A Tabela 12 apresenta as informações referentes às turmas em que o conteúdo de ligações químicas foi desenvolvido de forma tradicional.

Tabela 12 - Número de participantes e sujeitos da pesquisa do contexto tradicional

Escola/Professor	Participantes	Sujeitos
X/P3	24	15
Y/P4	18	06

Fonte: Autores.

Novamente a escola Y aparece com um menor número de sujeitos devido aos problemas já citados.

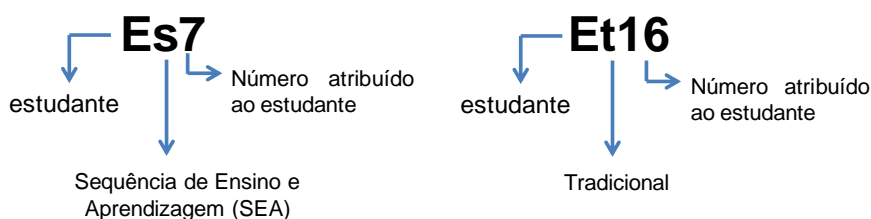
No contexto tradicional, os 21 estudantes frequentavam as escolas no turno da tarde, sendo 13 do sexo masculino e oito do feminino. A maioria deles (13) já havia reprovado e seis estavam cursando pela segunda vez a 1ª série do ensino médio. A faixa etária do grupo era de 14 a 18 anos e a idade média 15,61 anos.

Deste grupo, 17 afirmaram que é importante estudar Química, sendo os motivos variados, como: ser uma disciplina essencial para o entendimento de outras, cobrada em concursos, proporciona o entendimento do cotidiano, para avançar o conhecimento pessoal, entre outros. Dos que não a consideraram importante (4), as justificativas ficaram por conta de não utilizarem a Química em sua vida ou por acreditarem que não irão precisar da disciplina futuramente em suas profissões. A respeito do conteúdo de ligações químicas, somente quatro afirmaram já tê-lo estudado, seis não lembram e 11 não estudaram.

### II.3.3 Codificação dos Sujeitos da pesquisa

Com o propósito de manter o anonimato dos sujeitos da pesquisa foram utilizados códigos para representar individualmente cada estudante e o contexto em que participou, conforme a Figura 28.

Figura 28 - Codificação dos sujeitos de acordo com o contexto



Fonte: Autores.

## II.4 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

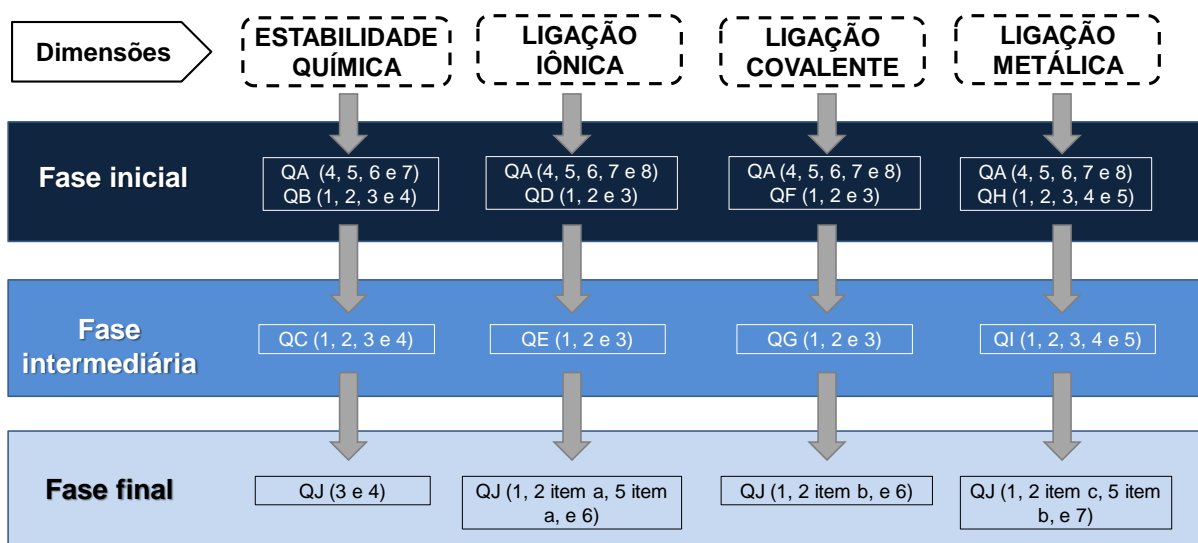
Os dados coletados foram analisados com o propósito de verificar como ocorre a construção do conhecimento em ligações químicas no nível médio. A avaliação das ideias apresentadas pelos estudantes foi fundamentada na noção de perfil epistemológico proposta pela teoria de Bachelard (2009).

A análise dos dados ocorreu antes, durante e após a abordagem do conteúdo de ligações químicas em sala de aula nas quatro turmas pesquisadas. A possibilidade

de caracterizar as ideias e os modelos explicativos dos estudantes nesses três períodos proporcionou uma avaliação a respeito do nível de conhecimento do sujeito nas três fases da pesquisa. Isso viabilizou traçar um perfil para cada estudante e acompanhar a construção do conhecimento referente ao conteúdo.

Para a análise do perfil epistemológico considerou-se que o conteúdo de ligações químicas envolve outros conceitos. Por isso, optou-se por avaliá-lo a partir de quatro dimensões, que são: estabilidade química, ligação iônica, ligação covalente e ligação metálica. Na Figura 29 são apresentados os questionários (Q), codificados conforme Quadro 31, e as questões (indicadas pelos números entre parênteses) que forneceram os dados para a análise de cada dimensão nas três fases da pesquisa.

Figura 29 - Questões analisadas em cada dimensão e fase da pesquisa



Fonte: Autores.

A análise das dimensões ocorreu de maneira individual e nas fases inicial, intermediária e final, seguindo os passos:

#### 1º) Emergência de categorias

Em cada dimensão, inicialmente as respostas dos estudantes foram lidas, transcritas em planilhas do Microsoft Office Excel® e agrupadas em categorias que surgiram nas três fases da pesquisa. As categorias emergidas captam o sentido das



ideias dos estudantes para os conceitos de cada dimensão. Esta categorização proporcionou uma visão geral das ideias apresentadas por contexto em cada dimensão e fase da pesquisa. As categorias representam os diversos modos de pensar dos sujeitos.

## 2º) Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis hierárquicos

Após a categorização, as respostas dos estudantes, agora agrupadas em categorias, foram classificadas em zonas filosóficas. De maneira geral, estas zonas podem ser entendidas como:

### **- Realista**

As categorias desta zona apresentam noções não científicas. Representam ideias associadas ao senso comum, caracterizadas por formas ingênuas, subjetivas e intuitivas de enunciar determinado conceito. Geralmente são marcadas por obstáculos epistemológicos como observação primeira, conhecimento geral e animismo. Além disso, considerou-se como realista o conjunto de respostas que apresentaram ideias confusas cientificamente ou a ausência de resposta.

### **- Empirista**

As respostas classificadas nas categorias relacionadas a esta zona começam a empregar termos científicos derivados diretamente da observação, experimentação ou de dados experimentais. Apresentam ideias com um grau de abstração maior que a zona anterior e geralmente não estabelecem muitas relações entre os conceitos.

### **- Racionalista**

As categorias desta zona representam respostas que expõem formas científicas de pensar os conceitos em questão. As ideias são complexas e inter-relacionadas, na maioria das vezes com um grande poder de abstração. Há nesta zona, um nível mais elevado de reflexão sobre os conceitos científicos pesquisados.

Essa descrição direcionou a classificação das categorias quanto à origem do pensamento do estudante, que pode ser realista, empirista ou racionalista. Dentro de cada uma destas zonas, foram elaborados níveis hierárquicos com base na compreensão dos conceitos e no estabelecimento de relações pelos estudantes. Esses níveis são semelhantes aos que Bachelard (2009) propôs dentro da zona racionalista em seu perfil epistemológico para o conceito de massa. Na ocasião, o autor se referiu

ao terceiro nível como Racionalismo clássico da mecânica racional, ao quarto nível como Racionalismo completo e ao quinto nível como Racionalismo discursivo.

A partir destes direcionamentos, após a classificação das categorias em zonas filosóficas, que caracterizam a origem do conhecimento, as mesmas foram reavaliadas de acordo com os níveis hierárquicos, que correspondem à complexidade do pensamento. A seguir são apresentadas as zonas e os níveis elaborados para cada uma das dimensões analisadas.

Na dimensão Estabilidade química foi possível classificar as categorias emergidas das análises das respostas em seis níveis, sendo dois de cada zona. Esses apresentam um grau crescente de complexidade no sentido do realismo - nível I ao racionalismo - nível II. No Quadro 32 estão descritas as características das zonas e seus respectivos níveis.

Quadro 32 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Estabilidade química (continua)

Dimensão Estabilidade química	
<p><b>Realismo</b></p> <p>Conceito de estabilidade química impregnado de noções do senso comum e de sentidos provindos da palavra estabilidade.</p>	<b>Nível I</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não respondeu;</li> <li>- Ideias confusas, que não fazem sentido cientificamente, como “átomos são moléculas [...]”.</li> </ul>
	<b>Nível II</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidade química concebida como: lugar físico, estado de espírito ou emocional;</li> <li>- Estabilidade química como sinônimo das palavras “equilíbrio”, “estar bem”, “na mesma sintonia”, entre outros.</li> </ul>
<p><b>Empirismo</b></p> <p>A estabilidade química está associada a observações, provenientes de experiências dos sujeitos em atividades experimentais, discussões em sala de aula, resolução de exercícios, etc. Não há um emprego racional de conceitos, e sim, aplicações de regras gerais e automáticas.</p>	<b>Nível I</b>
	<p>Aplicação de regras e leis gerais, como por exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidade química consiste em ter o octeto de elétrons completo na camada de valência;</li> <li>- Estabilidade química é uma atração entre átomos (sem especificar o tipo);</li> <li>- Estabilidade química é vista como resultado da formação de substâncias químicas;</li> </ul>
	<b>Nível II</b>
	<p>Aplicação de regras e leis gerais associadas aos aspectos energéticos, por exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidade química consiste em ter o octeto de elétrons completo na camada de valência e para isso ocorre a liberação de energia;</li> <li>- Estabilidade química é uma atração entre átomos (sem especificar o tipo) que resulta em uma liberação de energia.</li> </ul>

Quadro 32 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Estabilidade química  
(conclusão)

Dimensão Estabilidade química	
<p><b>Racionalismo</b></p> <p>A estabilidade química é entendida como uma consequência da união entre átomos, que ocorre com diminuição da energia potencial do sistema. São estabelecidas explicações embasadas em modelos teóricos e várias relações com outros conceitos.</p>	<p><b>Nível I</b></p> <p>São estabelecidas duas relações, por exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A estabilidade química é atingida por meio da união dos átomos (ligações químicas) e está relacionada com a diminuição de energia potencial do sistema.</li> </ul>
	<p><b>Nível II</b></p> <p>São estabelecidas três ou mais relações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Os átomos realizam ligações químicas para atingir a estabilidade e a associam com a diminuição de energia potencial do sistema. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química e compreendem que essa ocorre com liberação de energia e a ruptura ocorre com absorção. Relacionam as distâncias entre os núcleos dos átomos com forças de atração e repulsão.</li> </ul>

Fonte: Autores.

Para as dimensões Ligação iônica e Ligação covalente, as categorias emergidas das respostas foram avaliadas em 11 níveis, sendo dois da zona realista, cinco da empirista e quatro da racionalista, conforme os Quadros 33 e 34 respectivamente.

Quadro 33 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Ligação iônica  
(continua)

Dimensão Ligação iônica	
<p><b>Realismo</b></p> <p>A ligação iônica é interpretada a partir do senso comum e de fatos observáveis do cotidiano.</p>	<p><b>Nível I</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não respondeu;</li> <li>- Ideias confusas, que não fazem sentido cientificamente, como “os retículos cristalinos não possuem energia [...]”.</li> </ul>
	<p><b>Nível II</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligação iônica forma compostos estáveis, ou seja, que estão em equilíbrio ou harmonia;</li> <li>- Ligação iônica forma o sal de cozinha;</li> <li>- Retículo cristalino é o grão do sal de cozinha.</li> </ul>
<p><b>Empirismo</b></p> <p>A ligação iônica está associada a observações, provenientes de experiências dos sujeitos em atividades experimentais, discussões em sala de aula, resolução de exercícios, etc. Não há um emprego racional de conceitos, e sim, aplicações de regras gerais e automáticas.</p>	<p><b>Nível I</b></p> <p>Aplicação de regras e leis gerais, com incoerências conceituais. Alguns exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ligação iônica ocorre pelo compartilhamento de elétrons;</li> <li>- Apresentam o modelo de ‘molécula’ para os compostos iônicos;</li> <li>- Julgam a estabilidade química dos compostos iônicos pela solubilidade em água;</li> <li>- Confundem entidades químicas, como os cátions e ânions, com partículas elementares do átomo (prótons e elétrons, por exemplo).</li> </ul>

Quadro 33 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Ligação iônica

(continuação)

<b>Dimensão Ligação iônica</b>	
	<b>Nível II</b>
	Aplicação de regras e leis gerais, como por exemplo: - A Ligação iônica ocorre pela transferência de elétrons de um metal para um não metal. Não diferenciam os íons (cátions e ânions) e esses dos átomos. Não fazem referência à estabilidade química ou se baseiam no octeto de elétrons. Utilizam o modelo de 'molécula' para representar o retículo cristalino.
	<b>Nível III</b>
	Aplicação de regras e leis gerais, como por exemplo: - A Ligação iônica ocorre pela transferência de elétrons de um metal para um não metal. Começam a diferenciar os íons (cátions e ânions) e esses dos átomos. Utilizam o modelo de 'molécula' para representar o retículo cristalino.
	<b>Nível IV</b>
	Aplicação de regras e leis gerais associadas aos aspectos energéticos, por exemplo: - A Ligação iônica ocorre pela transferência de elétrons de um metal para um não metal e para isso ocorre liberação de energia. Não diferenciam os íons (cátions e ânions) e esses dos átomos. Apresentam uma noção do modelo eletrostático e a ideia 'de molécula' para os compostos iônicos.
	<b>Nível V</b>
	Aplicação de regras e leis gerais associadas aos aspectos energéticos, por exemplo: - A Ligação iônica ocorre pela transferência de elétrons de um metal para um não metal e para isso ocorre liberação de energia. Diferenciam os íons (cátions e ânions) e esses dos átomos. Apresentam concomitantemente a noção do modelo eletrostático e 'de molécula' para os compostos iônicos;  Concepções que estão na zona de transição, ou seja, apresentam características empiristas e racionalistas ao mesmo tempo, por exemplo: - Apresentam a ideia de que ocorrem várias interações no retículo cristalino (modelo 'de rede'), mas seguem fundamentando a estabilidade química na regra do octeto.
<b>Racionalismo</b>  A ligação iônica é entendida como uma atração entre íons de cargas opostas, resultante da energia liberada na formação do retículo cristalino. São estabelecidas explicações embasadas em modelos teóricos e várias relações com outros conceitos.	<b>Nível I</b>
	São estabelecidas duas relações, por exemplo: - A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam o retículo por meio do modelo reticular.
	<b>Nível II</b>
	São estabelecidas três relações, por exemplo: - A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam o retículo cristalino por meio do modelo reticular, diferenciando os íons e apresentam noções de atração e repulsão.

Quadro 33 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Ligação iônica

(conclusão)

Dimensão Ligação iônica	
	<b>Nível III</b>
	São estabelecidas quatro relações, por exemplo: - A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam o retículo cristalino por meio do modelo reticular, diferenciam os íons e apresentam noções de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos.
	<b>Nível IV</b>
	São estabelecidas cinco ou mais relações, por exemplo: - A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam o retículo cristalino por meio do modelo reticular, diferenciam os íons e apresentam noções de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos por intermédio do estabelecimento de relações com suas propriedades.

Fonte: Autores.

Quadro 34 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Ligação covalente

(continua)

Dimensão Ligação covalente	
<p style="text-align: center;"><b>Realismo</b></p> <p>A ligação covalente é interpretada a partir do senso comum e de fatos observáveis do cotidiano.</p>	<b>Nível I</b>
	- Não respondeu; - Ideias confusas, que não fazem sentido cientificamente, como “ <i>Os compostos covalentes estão estáveis porque adquiriram a estabilidade</i> ”.
	<b>Nível II</b>
	- Ligação covalente forma compostos estáveis, ou seja, que estão em equilíbrio ou harmonia; - A aproximação dos átomos na ligação covalente é comparada a aproximação das nuvens.
<p style="text-align: center;"><b>Empirismo</b></p> <p>A ligação covalente está associada a observações, provenientes de experiências dos sujeitos em atividades experimentais, discussões em sala de aula, resolução de exercícios, etc. Não há um emprego racional de conceitos, e sim, aplicações de regras gerais e automáticas.</p>	<b>Nível I</b>
	Aplicação de regras e leis gerais, com incoerências conceituais. Alguns exemplos: - Ligação covalente ocorre pela transferência de elétrons; - Apresentam a ideia de atração entre íons para os compostos covalentes; - Não apresentam noções sobre a estrutura da matéria ou sobre as partículas que constituem os átomos (prótons, elétrons e nêutrons).
	<b>Nível II</b>
	Aplicação de regras e leis gerais, como por exemplo: - A ligação covalente é compreendida como uma atração entre átomos e proporciona a estabilidade química. Não pensam sobre a estrutura da matéria, tampouco sobre as interações entre núcleo e eletrosfera dos átomos participantes da ligação. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.
	<b>Nível III</b>
	Aplicação de regras e leis gerais, como por exemplo: - A ligação covalente ocorre pelo compartilhamento de elétrons entre os átomos, mas não pensam na estrutura da matéria e na natureza da força que os mantém unidos. Geralmente se baseiam no octeto de elétrons e não compreendem a eletronegatividade.

Quadro 34 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Ligação covalente

(conclusão)

<b>Dimensão Ligação covalente</b>	
	<b>Nível IV</b>
	Aplicação de regras e leis gerais associadas às noções sobre a estrutura do átomo, por exemplo: - Apresentam noções sobre a estrutura da matéria, mas não compreendem a natureza da ligação covalente, que ocorre pelo compartilhamento de elétrons entre não metais ou não metal e hidrogênio ou hidrogênio e hidrogênio para satisfazer o octeto dos átomos. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.
	<b>Nível V</b>
	Aplicação de regras e leis gerais associadas às noções sobre a estrutura do átomo, por exemplo: - Apresentam noções sobre a estrutura da matéria, mas não compreendem a natureza da ligação covalente, que ocorre pelo compartilhamento de elétrons entre não metais ou não metal e hidrogênio ou hidrogênio e hidrogênio. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares, mas não utilizam o conceito de eletronegatividade.  Concepções que estão na zona de transição, ou seja, apresentam características empiristas e racionalistas, por exemplo: - Compreendem a natureza da ligação covalente (interação entre elétrons e núcleos dos átomos), mas apresentam representações incoerentes ou interpretam os fenômenos apenas pelo observável.
<p style="text-align: center;"><b>Racionalismo</b></p> <p>A ligação covalente é entendida como uma atração entre o núcleo e elétrons dos átomos ligantes, resultante da energia liberada na formação de moléculas. A natureza dos tipos de ligação covalente é justificada por meio da eletronegatividade. São estabelecidas explicações embasadas em modelos teóricos e várias relações com outros conceitos.</p>	<b>Nível I</b>
	São estabelecidas duas relações, por exemplo: - A ligação covalente é resultante de forças eletrostáticas entre núcleo e eletrosfera dos átomos e compreendem a estrutura atômica.
	<b>Nível II</b>
	São estabelecidas três relações, por exemplo: - A ligação covalente é resultante de forças eletrostáticas entre núcleo e eletrosfera dos átomos. Compreendem a estrutura atômica e formam moléculas. Reconhecem os compostos covalentes, mas não estabelecem relações com as propriedades.
	<b>Nível III</b>
São estabelecidas quatro relações, por exemplo: - A ligação covalente é resultante de forças eletrostáticas entre núcleo e eletrosfera dos átomos. Compreendem a estrutura atômica e formam moléculas. Reconhecem os compostos covalentes por meio de suas propriedades.	
<b>Nível IV</b>	
São estabelecidas cinco ou mais relações, por exemplo: - A ligação covalente é resultante de forças eletrostáticas entre núcleo e eletrosfera dos átomos. Compreendem a estrutura atômica e formam moléculas. Reconhecem os compostos covalentes por meio de suas propriedades e diferenciam os polares dos apolares através da representação das cargas parciais ou densidade eletrônica.	

Fonte: Autores.

As categorias que emergiram na dimensão Ligação metálica foram classificadas em seis níveis, sendo dois de cada zona. O Quadro 35 apresenta as características das zonas e seus respectivos níveis.

Quadro 35 - Zonas filosóficas e níveis hierárquicos da dimensão Ligação metálica

<b>Dimensão Ligação metálica</b>	
<p><b>Realismo</b></p> <p>A ligação metálica é interpretada a partir do senso comum e de fatos observáveis do cotidiano.</p>	<p><b>Nível I</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não respondeu;</li> <li>- Ideias confusas, que não fazem sentido cientificamente.</li> </ul>
	<p><b>Nível II</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A ligação metálica é formada por metais;</li> <li>- Representação de objetos metálicos para se referir à ligação metálica, entre outros.</li> <li>- Representam as substâncias metálicas como sendo formadas por um único átomo de metal.</li> </ul>
<p><b>Empirismo</b></p> <p>A ligação metálica está associada a observações, provenientes de experiências dos sujeitos em atividades experimentais, discussões em sala de aula, resolução de exercícios, etc. Não há um emprego racional de conceitos, e sim, aplicações de regras gerais e automáticas.</p>	<p><b>Nível I</b></p> <p>Aplicação de regras e leis gerais, como por exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A ligação metálica une metais para alcançarem o octeto de elétrons completo na camada de valência;</li> <li>- A ligação metálica pode ser considerada um aglomerado de átomos ou íons.</li> </ul>
	<p><b>Nível II</b></p> <p>Representam modelos próximos ao mar de elétrons, sem especificar a natureza da interação:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- União de cátions sem a representação dos elétrons ou menções a força eletrostática;</li> <li>- O modelo mar de elétrons é representado com incoerências.</li> </ul> <p>Utilizam modelos dos outros tipos de ligações químicas para representarem as substâncias metálicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Representações semelhantes ao modelo de retículo cristalino iônico;</li> <li>- Representam interações entre núcleos e elétrons de dois metais, passando a ideia do compartilhamento de um par de elétrons.</li> </ul>
<p><b>Racionalismo</b></p> <p>A ligação metálica é entendida como uma atração eletrostática entre cátions e elétrons, resultando na diminuição da energia potencial do sistema. São estabelecidas explicações embasadas em modelos teóricos e várias relações com outros conceitos.</p>	<p><b>Nível I</b></p> <p>São estabelecidas até duas relações, por exemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Representam as interações eletrostáticas entre cátions e elétrons pelo modelo mar de elétrons e identificam as substâncias metálicas.</li> </ul>
	<p><b>Nível II</b></p> <p>São estabelecidas três ou mais relações:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Representam as interações eletrostáticas entre cátions e elétrons pelo modelo mar de elétrons e identificam as substâncias metálicas pelo estabelecimento de relações com suas propriedades.</li> </ul>

Fonte: Autores.

### 3º) Construção do perfil epistemológico para as ligações químicas

Para a construção do perfil epistemológico de ligações químicas foram consideradas as classificações obtidas na fase final da pesquisa para as quatro dimensões. Esta análise proporcionou a percepção da compreensão individual dos estudantes em relação à estabilidade química e às ligações iônica, covalente e metálica, que compõem o perfil de ligações químicas.

Conforme observado nos Quadros anteriores (32 a 35), foram elaborados 11 níveis hierárquicos dentro das três zonas filosóficas, que correspondem à complexidade das explicações fornecidas pelos estudantes ao longo da pesquisa. Neste contexto, deve-se considerar a possibilidade da existência de perfis plurais, compostos por ideias provenientes de diferentes zonas e níveis em cada dimensão.

Com o objetivo de obter uma visão geral do conhecimento de cada estudante ao final da pesquisa, foram atribuídos valores para as zonas e níveis hierárquicos. Referente às zonas filosóficas, os valores concedidos às respostas e representações seguiram o seguinte critério: realista - máximo 1,0 ponto; empirista - máximo 2,0 pontos; racionalista - máximo 3,0 pontos.

Considerando as quatro dimensões de análise, a quantidade de níveis hierárquicos para cada zona foi diferente. Em específico, nas dimensões Estabilidade química e Ligação metálica foram elaborados dois níveis por zona filosófica, expostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores atribuídos para as dimensões Estabilidade química e Ligação metálica

Zona filosófica	Valor	Nível hierárquico das dimensões Estabilidade química e Ligação metálica	Valor
Realista	0,50 - 1,00	I	0,50
		II	1,00
Empirista	1,20 - 2,00	I	1,20
		II	2,00
Racionalista	2,25 - 3,00	I	2,25
		II	3,00

Fonte: Autores.



Já para as dimensões Ligação iônica e Ligação covalente, as explicações fornecidas pelos estudantes foram classificadas em dois níveis hierárquicos na zona realista, cinco níveis na empirista e quatro níveis na racionalista, resultando 11 níveis. Foram elaborados mais níveis nas zonas empirista e racionalista, o que resultou em valores intermediários. A Tabela 14 apresenta os valores atribuídos para cada nível nessas duas dimensões de análise.

Tabela 14 - Valores atribuídos para as dimensões Ligação iônica e Ligação covalente

Zona filosófica	Valor	Nível hierárquico das dimensões Ligação iônica e Ligação covalente	Valor
Realista	0,50 - 1,00	I	0,50
		II	1,00
Empirista	1,20 - 2,00	I	1,20
		II	1,40
		III	1,60
		IV	1,80
		V	2,00
Racionalista	2,25 - 3,00	I	2,25
		II	2,50
		III	2,75
		IV	3,00

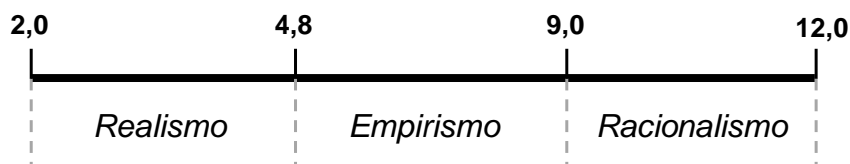
Fonte: Autores.

Conforme as Tabelas 13 e 14, os valores dos níveis da zona realista variaram entre 0,5 e 1,0, pois emergiram dois níveis hierárquicos para as quatro dimensões de análise. Na zona empirista, foram obtidos cinco níveis para as dimensões Ligação iônica e covalente. Assim, a cada nível dessa zona atribuiu-se o valor de 0,2. Para a zona racionalista, quatro níveis foram obtidos para as dimensões Ligação iônica e covalente. Neste caso, cada nível corresponde a 0,25.

Os valores foram atribuídos de forma que os níveis inferiores e superiores de cada zona se equivalessem nas quatro dimensões. Por exemplo, um estudante que apresentou ideias realistas - nível I para as quatro dimensões, obterá a pontuação 2,0, (valor mínimo que poderá ser atingido). Por outro lado, o estudante que expôs ideias racionalistas - nível II para as dimensões Estabilidade química e Ligação metálica e nível IV para as dimensões Ligações iônica e covalente, obterá a pontuação 12,0

(valor máximo que poderá ser atingido). De maneira semelhante, determinaram-se faixas de pontuações para cada zona filosófica, que são apresentadas na Figura 30.

Figura 30 - Faixas de pontuações



Fonte: Autores.

Os níveis de representação da matéria (JOHNSTONE, 1993, 2000) também foram considerados na análise. O tratamento dos dados se deu a partir das questões 5, 6 e 7 do questionário J (Apêndice AD), que envolvem a interpretação de fatos e fenômenos do cotidiano tendo como base os três modelos de ligações interatômicas. As explicações dos estudantes foram classificadas em:

**- Macroscópicas**

Consideram apenas ideias do mundo visível. São evidenciados aspectos observáveis e mensuráveis.

**- Submicroscópicas**

Consideram entidades do mundo submicroscópico e as relacionam com as explicações macroscópicas. Utilizam termos específicos da Química.

**- Representacional**

Além de fazerem relações entre o submicroscópico e o macroscópico, representam os fenômenos por meio de modelos aceitos cientificamente.

Neste trabalho, o perfil epistemológico de ligações químicas foi traçado a partir de dois aspectos: o somatório da pontuação obtida pelo estudante nas quatro dimensões e os níveis de representação da matéria que utilizou na explicação de fatos do cotidiano. Os perfis obtidos, bem como todo processo de análise são apresentados na sequência.

## II.5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, os resultados foram organizados por dimensão e as respostas categorizadas por fase da pesquisa. Após, as categorias emergidas foram classificadas em zonas filosóficas, que podem ser realista, empirista e racionalista. Foram elaborados níveis hierárquicos dentro de cada zona para as quatro dimensões de análise, que organizam as ideias dos estudantes levando em consideração o grau de complexidade. Em seguida, foi traçado o perfil epistemológico de ligações químicas para cada estudante dos contextos pesquisados a partir das quatro dimensões. A fim de se obter uma noção geral sobre o conhecimento do estudante ao final da pesquisa, foram levados em conta a zona predominante do perfil e os níveis de representação da matéria.

### II.5.1 Dimensão - Estabilidade química

#### II.5.1.1 *Emerção de categorias*

A classificação individual das respostas dos sujeitos do contexto da SEA e do contexto tradicional em categorias pode ser consultada nos Apêndices AE e AF respectivamente. Na sequência são apresentadas as categorias que emergiram em cada fase da pesquisa.

- Fase inicial

Em relação aos 29 sujeitos da SEA, nesta fase da pesquisa, foram analisadas 99 respostas que estão agrupadas em sete categorias (Quadro 36).

Quadro 36 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase inicial para o contexto da SEA

<b>Categoria</b>	<b>Trechos das respostas</b>	<b>Número de sujeitos</b>
<b>A)</b> Os átomos realizam ligações químicas para atingir a estabilidade. Relacionam a estabilidade com a diminuição de energia potencial do sistema.	<i>Os átomos se ligam para atingir maior estabilidade química, significa que vai ser estável quando a energia for menor (Es2).</i>	03
<b>B)</b> Definem estabilidade química como um estado de equilíbrio entre força e energia. Relacionam a estabilidade química com menor nível de energia.	<i>Os átomos se ligam pela interação eletrostática e a estabilidade é o equilíbrio entre essas forças e energia [...] (Es12).</i>	02
<b>C)</b> Os átomos se ligam devido a uma atração que ocorre entre eles. Não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos.	<i>Estabilidade química é algo que se une ou se repele. Ex: A+A se repele, B+B se repele e B+A se une (Es11). Eles (átomos) devem ser um negativo e um positivo por isso que se atraem (sic) (Es19).</i>	05
<b>D)</b> Os átomos realizam ligações químicas para formar substâncias químicas. Não relacionam a estabilidade com aspectos energéticos ou com as ligações químicas.	<i>Os átomos se unem para formar substâncias [...] a estabilizando átomos e íons (Es20).</i>	02
<b>E)</b> Associam a estabilidade química à regra do octeto. Geralmente, não relacionam a estabilidade com aspectos energéticos. Ou quando estabelecem relações pensam em um maior estado energético.	<i>Eles se ligam para obter estabilidade, ou seja, para terem 8 elétrons na camada de valência. Significa ficar com o seu número de elétrons igual ao dos gases nobres (Es23).</i>	04
<b>F)</b> Estabilidade concebida como lugar físico, estado de espírito ou emocional (ideia de equilíbrio).	<i>Estabilidade química, para mim, é um lugar onde se encontra pouca energia (Es4). Estabilidade química é quando os átomos ficam equilibrados (Es8). Que você está estável, está bem! (Es16)</i>	09
<b>G)</b> Ideias confusas: Os átomos se ligam para formarem "novos elementos químicos". As ligações químicas ocorrem acompanhadas pela absorção ou liberação de energia (calor). Relacionam a estabilidade química a um estado energético maior.	<i>Significa que vai ser estável quando a energia for maior (Es7). Pra se tornarem estáveis e formar novos elementos (Es22).</i>	04

Fonte: Autores.

As categorias apontam que os sujeitos participantes da SEA, de ambas as escolas, apresentaram ideias com diferentes níveis de complexidade no que se refere à estabilidade química. Uma análise que pode ser feita é referente ao estabelecimento de associações entre estabilidade química e aspectos energéticos. Partindo deste critério, as sete categorias em foram classificadas em dois grupos: *relacionam a*

*estabilidade química com aspectos energéticos e não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos.*

No grupo que estabelece a relação, encontram-se as respostas das categorias A e B, que correspondem a cinco (17,2%) dos 29 sujeitos. Esse resultado é diferente do obtido na primeira parte desta pesquisa no ano de 2013, apresentado na Unidade I da presente tese, quando nenhum dos 124 sujeitos investigados relacionou a estabilidade química com a energia das espécies analisadas.

Inclusive, foi esse resultado que nos fez pensar sobre a abordagem da estabilidade química no ensino médio, que muitas vezes ocorre de forma subestimada e sem estabelecer vínculos com as ligações químicas. Por se tratarem de concepções prévias, obtidas antes da participação dos estudantes na SEA, destaca-se o fato deste grupo de estudantes já apresentar noções que se aproximam das aceitas cientificamente, o que revela uma boa compreensão do conceito analisado nesta dimensão.

As respostas de 24 estudantes (82,8%) foram contempladas em cinco categorias do grupo *não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos*. De maneira geral, observa-se que a maioria dos estudantes apresentou dificuldades na conceituação da estabilidade química e não a associaram com o nível energético.

Uma das razões para esse alto índice, provavelmente, está associada ao fato de que os estudantes, quando responderam ao questionário, ainda não haviam estudado o conceito formalmente na 1ª série do ensino médio. Por outro lado, corrobora com a hipótese de que o ensino de ligações químicas não parte do conceito de estabilidade química, visto que muitos afirmaram já tê-lo estudado no ensino fundamental.

Dentre as categorias desse grupo, destaca-se a que associa a estabilidade química com a regra do octeto (categoria E), a qual corresponde às respostas de quatro estudantes (13,8%).

Quando se desenvolveu a primeira parte desta pesquisa, percebeu-se uma forte ênfase dada à regra do octeto no ensino de ligações químicas no nível médio. Em relação aos estudantes pesquisados, os dados encontrados apontam que a maioria utiliza o octeto de elétrons como critério para a estabilidade química. Dos

quatro livros didáticos do PNLD (2015-2017), três deles mencionam esta regra e a utilizam como fundamento teórico. No que tange aos professores entrevistados, todos admitiram ensinar a regra do octeto e a consideraram fundamental.

Esses resultados sugerem que a abordagem da estabilidade química no ensino médio, em vez de relacionar a formação da ligação química ao abaixamento energético do sistema, prioriza a aplicação de regras generalistas que impedem o desenvolvimento conceitual, isso se reflete nas respostas dos estudantes da categoria E: “Os átomos realizam ligações químicas para ter oito elétrons, assim, eles ficam estáveis como os gases nobres” (Es25) e “Porque todo o átomo quer ser estável igual aos gases nobres, com oito elétrons” (Es27).

Também se observou um considerável número de respostas (31% dos estudantes) impregnadas de significados provenientes da utilização popular ou corriqueira da palavra estabilidade, classificadas na categoria F. Em algumas respostas, os estudantes apresentaram ideias confusas, e, por vezes, contraditórias, que foram agrupadas na categoria G (13,8%). Essas respostas mostram poucas associações com os conceitos científicos, sinalizando uma compreensão insuficiente do conceito de estabilidade química.

A respeito dos 21 dos sujeitos do contexto tradicional, foram avaliadas 73 respostas na fase inicial, das quais emergiram cinco categorias que são apresentadas no Quadro 37.

Quadro 37 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase inicial para o contexto tradicional

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<b>A)</b> Os átomos se ligam devido a uma atração que ocorre entre eles, alguns a denominam de interação eletrostática. Não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos.	<i>Estabilidade química é a interação eletrostática entre íons ou átomos (Et2).</i>	03
<b>B)</b> Associam a estabilidade química à regra do octeto. Geralmente, não relacionam a estabilidade com aspectos energéticos. Ou quando estabelecem relações, não associam com a diminuição de energia potencial dos átomos.	<i>Ficar com 8 elétrons ou seja estável. Sim (há relação entre energia e estabilidade química), existe energia quando for provocada a formação da ligação (Et18).</i>	06

Quadro 37 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase inicial para o contexto tradicional

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
C) Estabilidade concebida como lugar físico, concreto, estado de espírito ou emocional (ideia de equilíbrio).	<i>O motivo dos átomos se ligarem é para ter uma estabilidade de vida melhor (sic) (Et8). Quando dois elementos químicos conseguem ficar em uma mesma sintonia (Et13). Algo que se sinta estável. Harmonia entre positivo e negativo (Et15).</i>	06
D) Associa estabilidade química a neutralidade.	<i>É manter uma estabilidade entre os elementos, ficar igual, nem mais e nem menos e sim na medida certa. (Et4). Para ficar neutro, para ter mais estabilidade (Et19).</i>	02
E) Ideias confusas. Os átomos se ligam para formarem "novos elementos químicos". Ou entendem estabilidade química como uma transformação.	<i>Acho que serve (as ligações químicas) para que eles formem novos elementos (Et12). A estabilidade é uma transformação, evolução e muitas formações possíveis (Et1).</i>	04

Fonte: Autores.

Pelas categorias emergidas percebe-se que este grupo de estudantes possui concepções menos consistentes se comparado com os sujeitos da SEA. Traçando uma visão geral das ideias iniciais apresentadas no contexto tradicional, constata-se que nenhum relacionou de maneira satisfatória a estabilidade química com aspectos energéticos. Boa parte deles tiveram suas respostas atreladas à regra do octeto (28,6%), categoria B, ou a significados ingênuos originados do uso da palavra estabilidade no cotidiano (28,6%), categoria C.

- Fase intermediária

A fase intermediária da dimensão Estabilidade química corresponde às respostas emitidas pelos estudantes após a participação no eixo 1 da SEA, durante o período de desenvolvimento do conteúdo de ligações química. As ideias dos 29 sujeitos, nesse momento da pesquisa, foram classificadas em nove categorias (Quadro 38) emergidas do processo de análise de 231 respostas.

Quadro 38 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase intermediária para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>A)</b> Os átomos realizam ligações químicas para atingir a estabilidade. Associam estabilidade química com a diminuição de energia potencial do sistema. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química e compreendem que nessa ocorre liberação de energia e que na ruptura ocorre a absorção. Relacionam as distâncias entre os núcleos dos átomos com forças de atração e repulsão.</p>	<p><i>Quando ocorre uma ligação química, os átomos perdem energia e ganham estabilidade (Es20).</i>  <i>Libera energia para adquirir estabilidade e formar uma ligação química (Es13).</i>  <i>[...] os átomos se aproximam e começam a perder energia e a se estabilizar. [...] quando muito próximos, os átomos se repelem e a energia sobe muito (Es20).</i></p>	03
<p><b>B)</b> Definem estabilidade química como um estado de equilíbrio entre força e energia. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química por meio da relação entre a estabilidade química e a diminuição de energia potencial dos átomos.</p>	<p><i>Estabilidade é o equilíbrio entre forças e as energias dos átomos da ligação. As substâncias formam ligações químicas porque os átomos tendem a se juntar para ficar estáveis e diminuir sua energia (Es18).</i>  <i>Repulsão, os átomos tendem a ter mais energia, é porque estão se repelindo (Es15).</i></p>	02
<p><b>C)</b> Os átomos realizam ligações químicas para alcançar a estabilidade química. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química por meio da relação entre a estabilidade química e a diminuição de energia potencial dos átomos. Não empregam adequadamente alguns conceitos como elemento químico, átomo, molécula, substância, temperatura, calor e energia.</p>	<p><i>Os átomos tendem alcançar a estabilidade, ou seja, menor nível de energia (Es6).</i>  <i>Para formarem novos elementos e alcançarem a estabilidade (Es22).</i>  <i>Ocorreu uma ligação química fazendo com que a energia seja liberada na forma de calor, ocasionando a estabilidade (Es3).</i></p>	07
<p><b>D)</b> Os átomos realizam ligações químicas para atingir a estabilidade. Relacionam estabilidade química com aspectos energéticos, mas não reconhecem a formação de uma ligação química e não a vinculam com a liberação de energia.</p>	<p><i>Estabilidade química é quando os átomos estão unidos, sendo assim a energia é baixa.</i>  <i>Se é uma ligação química, ele está estável e, portanto, mais estabilidade do que energia [...] (sic) (Es11).</i></p>	02
<p><b>E)</b> Os átomos realizam ligações químicas para formar substâncias. Compreendem a ligação química como uma atração máxima entre os núcleos e a relacionam com a diminuição da energia dos átomos, consequência de sua liberação.</p>	<p><i>Eles (átomos) realizam ligações químicas para formar novas substâncias e atingir menor grau de energia.</i>  <i>[...] começou a atração entre eles, então eles tiveram a atração máxima, que então é a ligação química (Es19).</i></p>	02
<p><b>F)</b> Estabilidade química é quando dois átomos se atraem ou formam ligações químicas. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química por meio da relação entre a estabilidade química e a diminuição de energia potencial dos átomos. Relacionam a formação de uma ligação química com a liberação de energia e a ruptura com a absorção energia.</p>	<p><i>Estabilidade química é quando os átomos se unem e ocorre uma ligação química (Es8).</i>  <i>Estabilidade química é quando os átomos se atraem (Es16).</i>  <i>Quando há formação de ligação química, aquece e libera energia (Es8).</i></p>	04



Quadro 38 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase intermediária para o contexto da SEA

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>G)</b> Os átomos realizam ligações químicas para atingirem a estabilidade química, que é concebida como uma temperatura estável, agradável e tranquila. Não reconhecem a formação de uma ligação química, mas associam a estabilidade química com aspectos energéticos e consideram que na formação de uma ligação química ocorre absorção de energia (aquece) e que na ruptura ocorre liberação (esfria).</p>	<p><i>Para alcançar a estabilidade, uma temperatura estável, agradável e tranquila [...]. Absorveu energia, pois aqueceu o tubo de ensaio em que ocorreu a formação da ligação química (Es1).</i></p>	02
<p><b>H)</b> Associam a estabilidade química à regra do octeto. Geralmente, não relacionam a estabilidade com aspectos energéticos. Associações quando feitas, são de forma confusa ou inadequada.</p>	<p><i>Estabilidade química é quando dois átomos ou mais se juntam para ter estabilidade, assim como os gases nobres. Eles realizam para ter 8 elétrons, assim, eles ficam estáveis (Es25).</i></p>	04
<p><b>I) OUTROS:</b> Estabilidade concebida como lugar físico, estado de espírito ou emocional. Ou compara os átomos a ímãs, que podem se atrair e repelir. Ou apresenta ideias contraditórias.</p>	<p><i>Estabilidade é onde os átomos se encontram com menor energia (Es4). Pois como não atingiram a esperada estabilidade sozinhos, procuram outro átomo para se estabilizarem (sic). Estão (átomos) muito longe dos demais. Se compararmos com ímãs, quando dois polos iguais se tocam, eles se repelem (Es23).</i></p>	03

Fonte: Autores.

Observa-se pelos resultados que, nesta fase da pesquisa, os sujeitos apresentaram respostas mais elaboradas e com modos de pensar distintos, o que resultou em um maior número de categorias. Grande parte das respostas estabeleceu conexões entre a estabilidade química e outros tópicos, tais como: ligações químicas, energia, força, temperatura, substâncias químicas, regra do octeto, entre outros. Conforme aponta Bachelard (2009), a partir do momento que se conhece duas propriedades de um objeto, tenta-se constantemente relacioná-las. As várias relações estabelecidas sinalizam que o conhecimento acerca da estabilidade química evoluiu após a participação dos sujeitos nas atividades do eixo 1 da SEA.

Dos 29 estudantes deste contexto, 22 (75,8%) relacionaram, mesmo que de forma insatisfatória, a estabilidade com aspectos energéticos. Na fase inicial eram apenas cinco (17,2%) que estabeleciam essa associação. Acredita-se que esse aumento no índice de estudantes é consequência da ênfase dada à relação entre estabilidade

química e diminuição da energia potencial dos átomos envolvidos na formação da ligação química, durante o eixo 1 da SEA, principalmente nas atividades experimental e de modelagem.

Dentre os 22 estudantes, percebe-se que a maior parte deles (20) associou a estabilidade química à diminuição de energia do sistema. No entanto, algumas respostas, classificados na categoria G, mostram uma confusão na interpretação de dados empíricos durante a atividade experimental. Eles atribuem o aquecimento do tubo de ensaio, onde ocorreu a formação de ligações químicas, ao aumento de energia de sistema.

Essas concepções alternativas têm origem em um pensamento substancialista, que passa a ideia de que a ligação química armazena energia, sendo necessário fornecê-la para formação e que o contrário, o rompimento, libera energia. Hapkiewicz (1991) alerta que é comum entre os estudantes, o pensamento de que a ligação química se comporta como fosse uma mola estendida que libera energia quando rompida.

As respostas da categoria G constituem um obstáculo epistemológico para a evolução do conhecimento em ligações químicas. A sua superação e o estabelecimento de relações entre a estabilidade química e aspectos energéticos é fundamental para avançar nas zonas do perfil epistemológico, bem como necessário para a compreensão da formação das ligações químicas a partir de aportes teóricos racionalistas.

Nesta fase da pesquisa, muitos estudantes empregaram alguns termos científicos de forma inadequada. Em vários trechos das respostas obtidas, principalmente nas da categoria C, ficou evidente a utilização indiferenciada dos conceitos de átomo, substância pura e elemento químico ou de temperatura e calor, conforme os seguintes exemplos: “É quando um elemento tem um menor nível de energia e uma estabilidade elevada” (Es3), “Eu acredito que (realizam ligações) para formar novos elementos e assim, serem usados para o bem da humanidade” (Es14), “[...] Eu senti que o tubo 1 tem mais calor” (Es14).

O conteúdo de ligações químicas é constituído por uma rede conceitual ampla e articulada (DE POSEADA, 1999; MELO, 2002), na qual estão inclusos os

conceitos que geraram as confusões mencionadas. Geralmente, tais tópicos são apresentados no início do estudo em Química ou Ciências e envolvem um raciocínio que os estudantes do ensino médio ainda não desenvolveram (BEM-ZVI; EYLON; SILBERSTEIN, 1987; WARTHA et al., 2010; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002). Tal situação poderá dificultar a evolução das ideias dos estudantes acerca das ligações químicas na fase final da pesquisa. Assim, é importante que o ensino de Química seja pensado e organizado de forma que proporcione uma compreensão adequada desses tópicos básicos, pois conforme ressalta Bachelard (2009) o progresso do pensamento científico é acompanhado por uma hierarquia de conhecimentos.

Apesar de o eixo 1 da SEA ter como foco a explicação da estabilidade química por meio de noções que envolvam a diminuição da energia potencial do átomos, ainda nesta fase da pesquisa, identificaram-se respostas fundamentadas na regra do octeto (13,8%), categoria H, e em aspectos do senso comum (10,3%) como as da categoria I.

No contexto tradicional, emergiram sete categorias do processo de análise das 163 respostas dos 21 sujeitos pesquisados, que são expostas no Quadro 39.

Quadro 39 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase intermediária para o contexto tradicional

		(continua)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<b>A)</b> Os átomos realizam ligações químicas para atingir a estabilidade. Associam estabilidade química com a diminuição de energia potencial do sistema. Reconhecem as etapas de formação de uma ligação química, alguns compreendem que nessa ocorre liberação de energia e que na ruptura ocorre a absorção.	<i>[...] ocorre a ligação química para estabilizar os átomos, diminuindo a energia (Et1). Com a aproximação (dos átomos) a energia começa a diminuir ocorrendo o aumento da estabilidade causando a atração dos dois átomos [...]. Tem menor energia e maior estabilidade, formando a ligação química (Et2).</i>	04
<b>B)</b> Estabilidade química é quando dois átomos se atraem ou formam ligações químicas. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química relacionando a estabilidade química com a diminuição de energia potencial dos átomos. Relacionam a formação de uma ligação química com a liberação de energia e a ruptura com a absorção energia.	<i>Estabilidade é quando os átomos realizam uma ligação química (Et20). Na minha opinião, as ligações químicas são quando um é diferente do outro, um é de carga positiva e o outro é com carga negativa (sic) (Et7). Porque houve a formação de ligações por isso o tubo se esquentou, liberou energia (Et7).</i>	04

Quadro 39 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase intermediária para o contexto tradicional

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>C)</b> Os átomos realizam ligações químicas para alcançar a estabilidade química. Interpretam as etapas de formação de uma ligação química por meio da relação entre a estabilidade química e a diminuição de energia potencial dos átomos. Não empregam adequadamente alguns conceitos como elemento químico, átomo, molécula, substância, temperatura, calor e energia.</p>	<p><i>Quando a energia está baixa e os átomos podem se unir, para formar novos elementos (Et15).</i>  <i>Quando há rompimento das ligações, esfria (o tubo de ensaio), a energia aumenta (Et16).</i></p>	03
<p><b>D)</b> Associam a estabilidade química à regra do octeto. Geralmente, não relacionam a estabilidade com aspectos energéticos, mas, associam a formação de ligações químicas com a liberação de energia.</p>	<p><i>Quando um átomo apresenta 8 elétrons na camada de valência e se torna estável (Et21).</i>  <i>Houve uma reação exotérmica (na formação da ligação química), liberou calor e a temperatura aumentou (Et18).</i></p>	03
<p><b>E)</b> Os átomos realizam ligações químicas para formar substâncias. Compreendem a ligação química como uma atração máxima entre os núcleos, mas não reconhecem a formação de uma ligação química e não a vinculam com a liberação de energia.</p>	<p><i>Estabilidade química é o que acontece com os átomos quando eles estão com a menor energia, para formar compostos (Et4).</i>  <i>[...] isso os tornam mais unidos e com uma atração máxima entre os núcleos (Et12).</i></p>	02
<p><b>F)</b> Associam estabilidade química com a diminuição de energia do sistema. Não definem ligação química com base na estabilidade e apresentam ideias equivocadas.</p>	<p><i>Estabilidade química é quando os átomos estão com energia baixa, então eles ficam com estabilidade (Et9).</i>  <i>Por que eles (átomos) se afastam, causando então a ligação química (Et14).</i></p>	03
<p><b>G)</b> Outros: Relaciona a estabilidade química ao aumento de energia do sistema. Ou não conceituou estabilidade química.</p>	<p><i>Estabilidade é quando se alcança uma alta energia (Et11).</i></p>	02

Fonte: Autores.

As categorias emergidas indicam que as respostas dos estudantes estão mais articuladas após o desenvolvimento formal do tópico em sala de aula. Dos 21 sujeitos, 11 (52,4%) deles relacionaram a estabilidade química com a diminuição de energia do sistema. Na fase inicial, nenhum estudante havia estabelecido esta relação.

Semelhante aos dados encontrados com o grupo da SEA, identificaram-se confusões em conceitos básicos da Química (categoria C), o que reforça a tese de que esses conhecimentos não são compreendidos de forma satisfatória pelos estudantes no início de ensino médio. Este resultado sugere que os tópicos básicos da Química

sejam retomados constantemente ao longo da educação básica, de maneira articulada com os conteúdos seguintes, na tentativa de minimizar barreiras para o desenvolvimento do pensamento científico.

Sobre a categoria D, apesar de os estudantes basearem suas justificativas na regra do octeto, eles associaram a formação da ligação química com a liberação de energia. Esse dado pode ser um indício de que estes estão abandonando explicações gerais, como a regra do octeto, e estabelecendo relações mais coerentes para a explicação da estabilidade química, baseadas em aspectos energéticos.

Além disso, percebeu-se um decréscimo no índice de respostas provindas de significados cotidianos da palavra estabilidade ou de ideais confusas, que na fase anterior contabilizou 12 estudantes (57%), contra cinco (23,8%) na fase intermediária.

- Fase final

Na fase final, foram considerados para análise os dados obtidos após a aplicação da SEA. O Quadro 40 apresenta categorias emergidas da análise de 57 respostas dos 29 sujeitos desse contexto.

Quadro 40 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase final para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<b>A)</b> A interação eletrostática e a busca pela estabilidade são responsáveis pela formação de ligações químicas. Compreendem a estabilidade como consequência de um abaixamento energético.	<i>A interação eletrostática e a estabilidade, pois todos têm o mesmo objetivo, ficar na sua forma mais estável (Es24). Não, eles não precisam de oito elétrons na camada de valência. Alguns precisam, mas isso não vem ao caso, o que é responsável é a interação eletrostática e a estabilidade. Como por exemplo, o hidrogênio, ele possui apenas um elétron na camada de valência, se juntam hidrogênio com hidrogênio fica H<sub>2</sub>, ele fica estável (H-H) (Es20).</i>	04
<b>B)</b> Apenas a interação eletrostática é responsável pela formação de ligações químicas. Relacionam a estabilidade química com a diminuição de energia dos átomos.	<i>Na iônica o retículo cristalino, com cátions e ânions. Na covalente, entre o núcleo e a eletrosfera. Na metálica, um mar de cátions e elétrons, tudo pela interação eletrostática (Es19). [...] Quando a ligação acontece, a energia também diminui, por isso os átomos ficam juntos (Es25).</i>	07

Quadro 40 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase final para o contexto da SEA

(conclusão)

<b>Categoria</b>	<b>Trechos das respostas</b>	<b>Número de sujeitos</b>
<b>C)</b> Apenas a busca pela estabilidade química é responsável pela formação de ligações químicas. Relacionam a estabilidade com a diminuição de energia potencial dos átomos.	<i>Eles se unem para alcançar a estabilidade e ficarem estáveis (Es9). [...] o responsável pela estabilidade das substâncias é a baixa energia potencial (Es20).</i>	08
<b>D)</b> A interação eletrostática e a busca pela estabilidade são responsáveis pela formação das ligações químicas. Não estabelecem relações explícitas entre a estabilidade e aspectos energéticos.	<i>A tendência a se tornarem estáveis e a interação eletrostática (Es22). [...] nem todas as substâncias precisam de 8 (Es2).</i>	02
<b>E)</b> Apenas a interação eletrostática é responsável pela formação das ligações químicas. Não estabelecem relações explícitas entre a estabilidade e aspectos energéticos.	<i>A interação eletrostática entre eles, atração entre o positivo e negativo, como elétrons e cátions, cátion e ânion (Es3).</i>	02
<b>F)</b> Os átomos ficam juntos devido à ligação química. Acreditam que a estabilidade é consequência do octeto de elétrons. Não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos.	<i>A ligação, pois ela faz alcançar a estabilidade e por isso os átomos ficam juntos (Es14). [...] a estabilidade é atingida através da regra do octeto, ou seja, para ser estável precisa ter 8 ou 2 (Es21).</i>	02
<b>G)</b> Os átomos se unem devido a uma força. Aceitam a estabilidade como consequência do octeto de elétrons, porém também a vinculam a diminuição de energia do sistema.	<i>Acho que é a força de juntar eles pela ligação, por causa das cargas. A frase não está errada (octeto como responsável pela estabilidade), só que não é só isso. Quando a ligação acontece, a energia também diminui por isso os átomos ficam juntos (Es23).</i>	02
<b>H)</b> Os átomos se unem devido à ação de forças ou cargas. Não denominam o tipo de interação e não relacionam com aspectos energéticos.	<i>As ligações ocorrem por causa da carga dos átomos (Es25).</i>	02

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos no contexto da SEA mostram avanços. Retomando a discussão feita na fase inicial, na qual as categorias emergidas foram classificadas em dois grupos, tendo como critério a relação da estabilidade com aspectos energéticos, a situação é a seguinte:

- relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos, aumentou de cinco (17,2%) na fase inicial para 21 estudantes (72,4%) após a SEA, que correspondem às respostas das categorias A, B, C e G;

- não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos, diminuiu de 24 estudantes (82,8%) para oito estudantes (27,6%) na fase final, que correspondem às respostas das categorias D, E, F e H.

Outro ponto a ser destacado é que nenhum estudante na fase final associou a formação de ligações químicas ao aumento de energia do sistema, como detectado em fases anteriores. Ainda perceberam-se respostas bem elaboradas e que envolvem tópicos de outras dimensões, como as dos estudantes Es20 e Es19, utilizadas para exemplificar as respostas das categorias A e B no Quadro 40. As explicações apresentadas contemplam os modelos de interação eletrostática para os três tipos de ligações interatômicas, bem como exemplos que envolvem a formação de moléculas. Essas respostas mostram uma compreensão global acerca dos tópicos que envolvem o conteúdo de ligações químicas, por parte dos estudantes, na fase final da pesquisa. Percebeu-se que houve um aumento do papel das teorias (BACHELARD, 2009).

No contexto tradicional, nesta fase da pesquisa, foram analisadas 40 respostas. As categorias emergidas são apresentadas no Quadro 41.

Quadro 41 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase final para o contexto tradicional

		(continua)
<b>Categoria</b>	<b>Trechos das respostas</b>	<b>Número de sujeitos</b>
<b>A)</b> A interação eletrostática e a busca pela estabilidade são responsáveis pela formação de ligações químicas. Compreendem a estabilidade como consequência de um abaixamento energético.	<i>A interação eletrostática entre cada ligação covalente, metálica e iônica, eles se ligam para alcançar a estabilidade (Et12). [...] o responsável pela estabilidade das substâncias é a baixa energia potencial (Et2).</i>	03
<b>B)</b> Apenas a interação eletrostática é responsável pela formação de ligações químicas. Relacionam a estabilidade química com a diminuição de energia dos átomos.	<i>O responsável pelas uniões são as ligações químicas, ou seja, as interações eletrostáticas ocorridas (Et1). Não, porque o que é responsável por isso é a baixa energia que proporciona o aumento da estabilidade (Et8).</i>	07
<b>C)</b> Apenas a busca pela estabilidade química é responsável pela formação de ligações químicas. Relacionam a estabilidade com a diminuição de energia potencial dos átomos.	<i>A busca pela estabilidade. [...] o responsável pela estabilidade é a liberação de energia para alcançar a estabilidade (Et17).</i>	02
<b>D)</b> A liberação de energia é responsável pela formação de ligações químicas. Relacionam a estabilidade química com a diminuição de energia dos átomos.	<i>Quando os átomos se ligam ocorre a liberação de energia, por isso ficam unidos, o que resulta em uma menor energia potencial e estabilidade (Et16).</i>	04

Quadro 41 - Categorias da dimensão Estabilidade química na fase final para o contexto tradicional

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
E) Acreditam que a estabilidade é consequência do octeto de elétrons. Não relacionam a estabilidade química com aspectos energéticos.	<i>É que a formação dos octetos, ou seja, [...] ficam estáveis somente com 8 elétrons em sua camada de valência. Os demais átomos da tabela que não apresentam 8 elétrons na camada de valência, eles tendem a doar (metais) ou receber (não metais) elétrons (Et19).</i>	02
F) Os átomos ficam unidos devido à atração eletrostática e a estabilidade química é consequência da regra do octeto.	<i>Na iônica e na metálica, a atração do + (positivo) e do - (negativo). Na covalente, o compartilhamento. Sim, vemos que isso (octeto) ocorre perfeitamente na iônica e na covalente (Et20).</i>	02
G) Outros: não conceitua estabilidade química, mas a relaciona com a energia potencial.	<i>[...] pois, a energia potencial é responsável pela estabilidade (Es23).</i>	01

Fonte: Autores.

O índice de estudantes que relacionou a estabilidade química com a diminuição de energia, considerando as fases inicial, intermediária e final da pesquisa, é 0, 11 (52,4%) e 16 (76,2%) respectivamente. Nota-se um considerável aumento nesse índice após as aulas, o que pode ser consequência da ênfase dada aos aspectos energéticos durante o período de desenvolvimento do conteúdo de ligações químicas. Também se observou que, apesar do índice ter diminuído em comparação aos das outras fases, ideias atreladas à regra do octeto permaneceram e correspondem às respostas de quatro estudantes (19,04%), classificadas nas categorias E e F.

#### II.5.1.2 Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis

Inicialmente, as categorias emergidas no contexto da SEA foram classificadas em uma das três zonas filosóficas: realismo, empirismo ou racionalismo. Após, dentro de cada zona foram avaliadas de acordo com os níveis hierárquicos, nível I ou nível II, com base no Quadro 32, apresentado na seção método de análise dos dados. No Quadro a seguir é apresentado o resultado desta classificação.



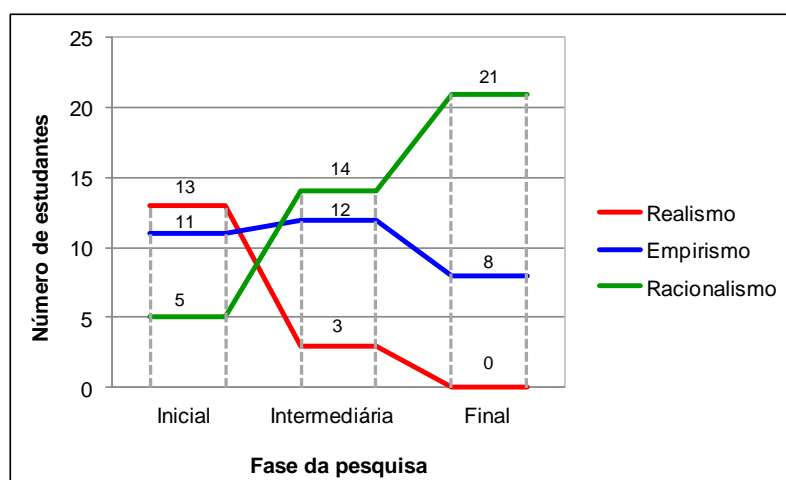
Quadro 42 – Classificação das categorias da dimensão Estabilidade química por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto da SEA

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo – nível I	G	-	-
Realismo – nível II	F	I	-
Empirismo – nível I	C, D, E	G, H	E, F, H
Empirismo – nível II	-	E, F	G
Racionalismo – nível I	A	C, D	C, D
Racionalismo – nível II	B	A, B	A, B

Fonte: Autores.

Em relação às zonas filosóficas, as ideias dos estudantes progrediram conforme o gráfico apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Concepções sobre Estabilidade química por zona e fase da pesquisa para o contexto da SEA



Fonte: Autores.

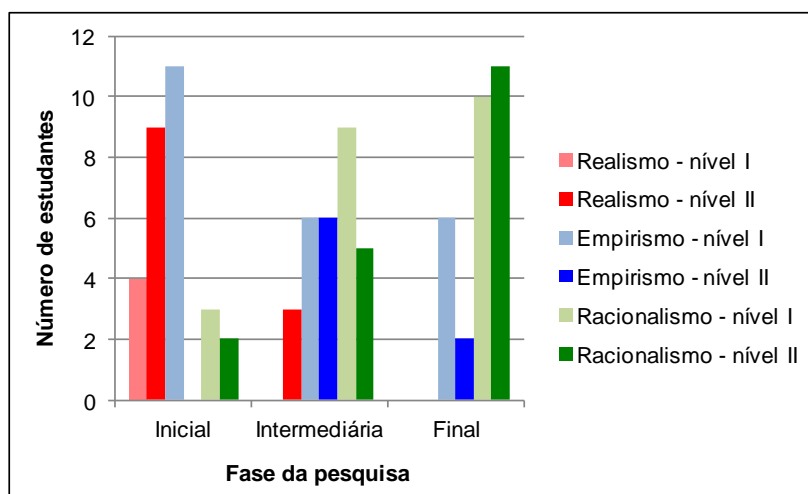
Pela análise do gráfico observa-se uma mudança em relação à zona filosófica predominante nas fases inicial e final. Inicialmente, predominaram ideias realistas e carregadas de senso comum (44,8%), seguidas pelas noções embasadas na observação e na experiência (37,9%) e, por fim, em menor número (17,3%), as ideias racionalistas. Já na fase intermediária é possível observar uma forte tendência das zonas extremas, que se confirma na fase final, em que 72,4% dos sujeitos da SEA

apresentaram concepções racionalistas, enquanto que nenhum apresentou ideias realistas.

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que houve evolução nas ideias, acerca da estabilidade química, dos estudantes que participaram da SEA. Pelas respostas da fase final, classificadas nas zonas empirista e racionalista, percebe-se a superação de obstáculos epistemológicos como a observação primeira (BACHELARD, 2009), fortemente enraizada na fase inicial. Essa é uma condição fundamental para o desenvolvimento de um pensamento científico mais racional.

Posteriormente a avaliação das categorias em zonas, elas foram reavaliadas considerando os níveis hierárquicos elaborados para a estabilidade química. As concepções dos sujeitos nas três fases da pesquisa são apresentadas na Figura 32.

Figura 32 – Concepções sobre estabilidade química por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto da SEA



Fonte: Autores.

A análise das categorias por zona e nível confirma que o pensamento acerca da estabilidade química, no contexto da SEA, avançou no sentido de uma maior racionalidade científica. As categorias classificadas em racionalismo - nível II, que representam respostas complexas nas quais são estabelecidas três ou mais relações, corresponderam a 6,9% na fase inicial, 17,2% na fase intermediária e 37,9% na fase final. Essa mesma tendência foi observada para as categorias classificadas como

racionalista - nível I, que para cada fase da pesquisa foi correspondente a 10,3% (fase inicial), 31,0% (fase intermediária) e 34,5% (fase final).

É válido ressaltar que os estudantes que desenvolveram um pensamento mais complexo e coerente com a teoria científica tiveram que romper com ideias gerais, comumente difundidas no ensino de Química, quando se trata da estabilidade. Bachelard denominou essas ideias de obstáculo do “conhecimento geral”, pois buscam explicar todos os fenômenos a partir de uma única lei ou regra.

Observando os resultados do gráfico da Figura 32, percebe-se uma diminuição no número de estudantes com ideias empiristas, muitas vezes, fundamentadas nessas leis gerais. No entanto, identificou-se um índice constante de estudantes que associam a estabilidade química ao octeto de elétrons (quatro sujeitos nas três fases). Apesar disso, verificou-se que nos níveis intermediário e final, dois deles, além de se basearem na regra do octeto, associaram a formação de ligações químicas com a diminuição de energia do sistema, o que resultou na ascensão de suas ideias para a zona empirismo - nível II. Esse resultado corrobora com o encontrado por outras pesquisas (MORTIMER; MOL; DUARTE, 1994; TABER, 2000; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006) que inferem que o “crédito” pela estabilidade química atribuído à regra do octeto não é facilmente abalado.

Também foi feita uma análise por zona e nível para cada um dos 29 sujeitos do contexto da SEA, nas três fases da pesquisa. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 43.

Quadro 43 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto da SEA sobre Estabilidade química

	Es1	Es2	Es3	Es4	Es5	Es6	Es7	Es8	Es9	Es10	Es11	Es12	Es13	Es14	Es15	Es16	Es17	Es18	Es19	Es20	Es21	Es22	Es23	Es24	Es25	Es26	Es27	Es28	Es29	
F <sub>1</sub>	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I
F <sub>2</sub>	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I
F <sub>3</sub>	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II

Legenda:

<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível I	<span style="color: lightblue;">■</span> Empirismo - nível I	<span style="color: lightgreen;">■</span> Racionalismo - nível I
<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível II	<span style="color: blue;">■</span> Empirismo - nível II	<span style="color: green;">■</span> Racionalismo - nível II

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

É possível observar um predomínio de ideias realistas na fase inicial da pesquisa (cores em tons de vermelho), que progressivamente foram sendo supridas por concepções mais avançadas nas fases posteriores. O Quadro 43 mostra o perfil epistemológico do conceito de estabilidade química para os 29 estudantes do contexto da SEA nas três fases da pesquisa.

Parte dos estudantes (20,7%) apresentou uma evolução conceitual completa, ou seja, como Bachelard (2009) denomina uma “evolução do espírito científico”. Nesse caso, tem-se um progresso no sentido *realismo* → *empirismo* → *racionalismo*, como pode ser observado pela análise do pensamento dos estudantes Es7, Es8, Es9, Es10, Es16 e Es26.

A fim de proporcionar uma compreensão deste progresso, a seguir apresenta-se como exemplo trechos das respostas do estudante Es16, quando conceitua estabilidade química, nas três fases da pesquisa:

**Fase inicial:** *Que você está estável, está bem!*

**Fase intermediária:** *Estabilidade química é quando os átomos se atraem, liberam energia para alcançar a estabilidade.*

**Fase final:** A baixa energia, devido à liberação de energia pela união dos átomos, é responsável pela estabilidade química.

Neste exemplo, ficam nítidas as diferentes origens do pensamento do Es16 nas três fases da pesquisa. Inicialmente, percebe-se que a ideia de estabilidade provém do sentido atribuído à palavra no cotidiano (realista). Na fase intermediária, apesar de contemplar noções energéticas, a estabilidade química é entendida como resultado da “atração entre os átomos”, concepção classificada como empirista. Por fim, a ideia da estabilidade química é compreendida como consequência da liberação de energia, resultante da formação de ligações químicas, pensamento próximo do aceite cientificamente (racionalista).

Outros estudantes (13,8%) apresentaram um perfil do tipo *realismo* → *racionalismo*, não englobando noções empiristas. Identificaram-se também perfis do tipo *empirismo* → *racionalismo*, ou seja, estes estudantes (34,5%), já na primeira fase, apresentaram concepções vinculadas a leis e teorias, não emitindo em nenhum momento da pesquisa noções provindas do senso comum. Ainda observaram-se perfis apenas empiristas, nível I → II, (6,9%) e racionalista (3,4%).

Alguns perfis caracterizados como empiristas foram identificados na zona final. Por exemplo, as respostas do Es23, apesar de terem progredido, em seu perfil encontraram-se apenas ideias realistas e empiristas ao longo da pesquisa. Já os perfis dos estudantes Es3, Es12, Es14, Es18 e Es21, que correspondem a 17,2% do total, em alguns momentos apresentaram ideias racionalistas, regressando a zona empirista ao final da pesquisa. Esses resultados podem ser justificados com base nas ideias de Bachelard (2009), o qual afirma que as diversas concepções acerca de um conceito coexistem na mente do sujeito, que poderá utilizá-las em diferentes situações. A intenção não é substituir ideias de uma zona, mas fazer com que o pensamento progrida, para que as noções racionalistas sejam cada vez mais frequentes.

No contexto tradicional, as categorias emergidas das respostas dos sujeitos nas três fases da pesquisa foram classificadas conforme o Quadro 44.

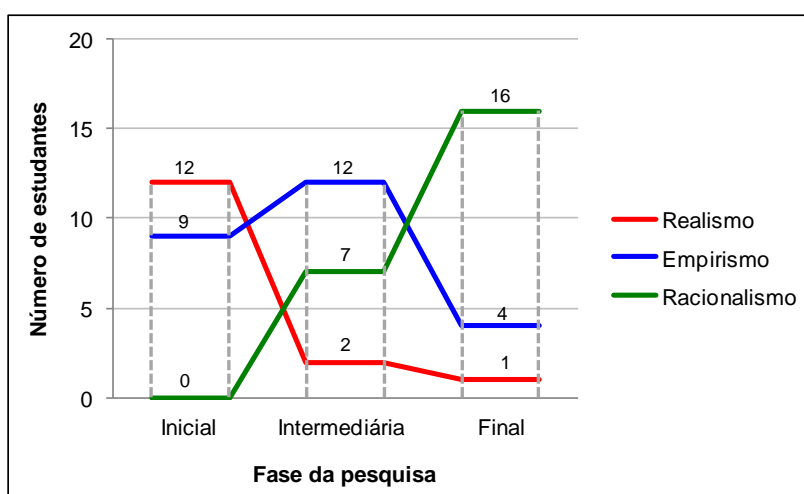
Quadro 44 - Classificação das categorias da dimensão Estabilidade química por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto tradicional

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	E	G	G
Realismo - nível II	C, D	-	-
Empirismo - nível I	A, B	D	E, F
Empirismo - nível II	-	B, E, F	-
Racionalismo - nível I	-	C	C, D
Racionalismo - nível II	-	A	A, B

Fonte: Autores.

A análise das concepções dos estudantes do contexto tradicional por zona filosófica e fase da pesquisa é apresentada na Figura 33.

Figura 33 - Concepções sobre Estabilidade química por zona e fase da pesquisa para o contexto tradicional



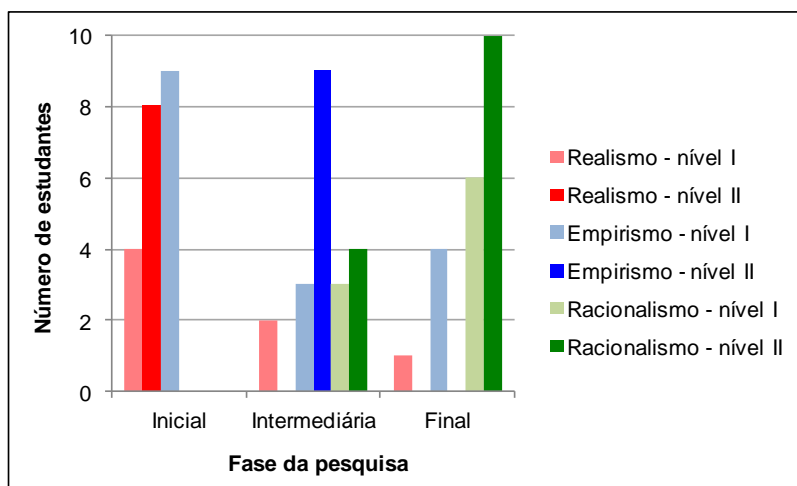
Fonte: Autores.

Os resultados obtidos para a estabilidade química com os estudantes do contexto tradicional são semelhantes aos da SEA. Inicialmente, a maioria dos apresentou ideias realistas (57,1%), enquanto que noções racionalistas não foram identificadas. O cenário começa a reverter na fase intermediária da pesquisa, quando parte dos estudantes ascenderam suas concepções para as zonas empirista (57,1%) e racionalista (33,3%). Na fase final, a maioria dos estudantes apresentou ideias

racionalistas (76,1%), seguido pelos que apresentaram noções empiristas (19%) e por apenas um com ideias realistas.

A avaliação por zona e nível hierárquico das ideias dos estudantes do contexto tradicional é apresentada no gráfico da Figura 34.

Figura 34 - Concepções sobre estabilidade química por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto tradicional



Fonte: Autores.

Percebe-se que as ideias dos estudantes progrediram no sentido de uma maior racionalidade. A zona racionalismo – nível II, que apareceu pela primeira vez na fase intermediária (19%), contabilizou 47,6% das respostas ao final da pesquisa. Resultados semelhantes foram observados para a zona racionalista – nível I, cujos índices foram 14,3% durante e 28,6 após a pesquisa.

Neste grupo de estudantes, foram encontradas concepções realistas em todas as fases da pesquisa, diferentemente do grupo da SEA, em que não se identificaram ideias realistas na fase final. Além disso, cinco (23,8%) dos 21 estudantes não relacionaram a estabilidade química com aspectos energéticos, sendo que quatro tiveram suas concepções classificadas como empirista – nível I e um deles apresentou ideias realistas. Assim, como ocorreu no contexto da SEA, identificaram-se ideias fundamentadas na regra do octeto, só que nesse caso nenhum estudante a relacionou com aspectos energéticos.

Apesar de os professores fundamentarem o conceito de estabilidade química em aspectos energéticos, tanto no contexto da SEA como no tradicional, alguns estudantes ainda atribuíram à regra do octeto tal responsabilidade. Com isso, inferiu-se que essa teoria constitui um potente obstáculo epistemológico para o progresso do conhecimento em ligações químicas.

Quanto à análise individual dos 21 sujeitos do contexto tradicional por zona e nível, os resultados obtidos são apresentados no Quadro 45.

Quadro 45 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto tradicional sobre Estabilidade química

	Et1	Et2	Et3	Et4	Et5	Et6	Et7	Et8	Et9	Et10	Et11	Et12	Et13	Et14	Et15	Et16	Et17	Et18	Et19	Et20	Et21		
F <sub>1</sub>	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	
F <sub>2</sub>	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	
F <sub>3</sub>	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Realismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I

Legenda:

<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível I	<span style="color: lightblue;">■</span> Empirismo - nível I	<span style="color: lightgreen;">■</span> Racionalismo - nível I
<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível II	<span style="color: blue;">■</span> Empirismo - nível II	<span style="color: green;">■</span> Racionalismo - nível II

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

O perfil epistemológico do conceito de estabilidade química para os estudantes Et4, Et10 e E12 é do tipo *realismo* → *empirismo* → *racionalismo*, ou seja, eles (14,3%) passaram pelas três zonas filosóficas durante a construção do conhecimento na dimensão analisada. 33,3% dos sujeitos apresentaram perfil do tipo *realismo* → *racionalismo*, não sinalizando concepções empiristas ao longo da pesquisa. Já para 28,6% dos estudantes, que não expuseram ideias realistas, o perfil traçado foi *empirismo* → *racionalismo*.

Há perfis em que a zona racionalista não foi identificada. O Et19 teve um progresso no sentido *realismo* → *empirismo*, três estudantes (14,3%) apresentaram um



perfil apenas empirista e o Et14 apesar de ter evoluído até a zona empirista – nível II retornou para a realista – nível I ao final da pesquisa.

Sobre a diversidade de perfis encontrados nos dois contextos, Bachelard comenta que o perfil epistemológico é individual, visto que depende intimamente das convicções pessoais e da relação do sujeito com os conceitos em questão. A seguir é apresentada a análise da segunda dimensão: ligação iônica.

## II.5.2 Dimensão - Ligação iônica

### II.5.2.1 Emersão de categorias


A classificação individual das respostas dos sujeitos do contexto da SEA e do contexto tradicional em categorias pode ser consultada nos Apêndices AE e AF. As categorias que emergiram em cada fase da pesquisa são apresentadas na sequência.

- Fase inicial

Na fase inicial da dimensão Ligação iônica foram avaliadas 109 respostas e 27 representações elaboradas pelos 29 estudantes do contexto da SEA, agrupadas em nove categorias (Quadro 46).




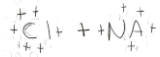
Quadro 46 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase inicial para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) Relaciona a estabilidade química com a diminuição de energia, consequência da formação da ligação iônica. Reconhece a formação dos íons, mas não justifica adequadamente. Representa a ligação iônica como uma atração entre dois íons. Não emprega adequadamente alguns conceitos científicos, como elemento químico, átomo, íons...	<p><i>Sim (é estável), porque ele (cloreto de sódio) tem uma ligação iônica entre seus dois componentes <math>Na^+</math> e <math>Cl^-</math>, o que o deixou com menos energia e mais estabilidade (Es11).</i></p> 	01

Quadro 46 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase inicial para o contexto da SEA

(continuação)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>B)</b> Atribuem a estabilidade química à formação da ligação iônica, alguns ainda citam o octeto de elétrons. Interpretam o retículo cristalino como a união de átomos, ou íons, ou de NaCl. Reconhecem a formação de íons, mas não justificam adequadamente. Representam a ligação iônica por meio da transferência de elétrons.</p>	<p><i>Sim (é estável), por que já aconteceu a ligação química para formá-lo [...] (Es4).</i>  <i>Sim (é estável), pois o sódio e o cloro fizeram a ligação e agora estão com 8 elétrons na camada de valência, ou seja, atingiram a estabilidade (Es29).</i>  <i>[...] Que só podemos ver com microscópio (retículo cristalino) e que são formados por <math>Na^+</math> e <math>Cl^-</math> (Es29).</i></p> 	09
<p><b>C)</b> Relacionam a estabilidade química com a dissolução do sal em água. O retículo cristalino é considerado a fórmula da sal. Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam adequadamente. Representam a ligação iônica como uma atração entre átomos.</p>	<p><i>Não (é estável), porque ele pode se dissolver na água (Es8).</i>  <i>É a fórmula do sal (Es1).</i></p> 	02
<p><b>D)</b> Atribui a estabilidade química à ligação iônica. O retículo cristalino é entendido como uma ligação de íons. Não reconhece a formação dos íons.</p>	<p><i>Sim (é estável), porque todos os íons estão ligados pelas suas cargas positivas e negativas. [...] É (retículo cristalino) a ligação entre os íons (Es5).</i></p>	01
<p><b>E)</b> Interpretam o retículo cristalino como a representação da substância "NaCl". Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam. Representam a ligação iônica por meio do compartilhamento de um par de elétrons entre átomos.</p>	<p><i>Acho que seria (retículo cristalino) como se fosse a representação da substância do sal (Es19).</i></p> 	02
<p><b>F)</b> Confundem a representação dos íons (ânions e cátions) do retículo cristalino com as partículas elétrons e prótons. Não reconhecem a formação dos íons e representam a ligação iônica como a união de um par de átomos.</p>	<p><i>São as bolinhas dos elétrons e prótons que formam o retículo cristalino (Es2).</i></p> 	03
<p><b>G)</b> Estabilidade química concebida como estado emocional ou de equilíbrio. Acreditam que os retículos cristalinos sejam os grãos do sal. Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam adequadamente.</p>	<p><i>Sim, porque ele não está agitado está estável (Es15).</i>  <i>Acredito que sejam (retículo cristalino) os grãos do sal, vistos microscopicamente (Es18).</i></p>	02
<p><b>H)</b> Estabilidade química concebida como estado emocional ou de equilíbrio. Acreditam que os retículos cristalinos sejam os grãos do sal. Não reconhecem a formação dos íons.</p>	<p><i>Sim, pois doou e recebeu para ficar positivo e negativo, está favorável (Es13).</i>  <i>Retículo cristalino são os grãos do sal (Es10).</i></p>	03

Quadro 46 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase inicial para o contexto da SEA

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
I) Outros: Ideias confusas ou não responderam	<i>Não, porque ele (cloreto de sódio) tem muita energia (Es16). Tem menos cloro no retículo cristalino [...] (Es16).</i>	06

Fonte: Autores.

O entendimento do processo de formação de íons é fundamental para a compreensão da ligação iônica. Dos sujeitos da SEA, 16 (55,2%) reconheceram que o sódio forma cátion e que o cloro forma ânion, enquanto que 13 (44,8%) não estabeleceram essa relação ou a fizeram incorretamente. No entanto, percebe-se que nenhum estudante justificou adequadamente a formação dos referidos íons. Em geral, eles aplicaram regras diretas, tais como: “o sódio está na família 1, ou seja, ele é um metal e tende a doar elétrons” (Es29) ou “cloro recebe 1 e-, pois está na família 17, para se estabilizar” (Es28), ao invés de se basearem nas interações eletrostáticas das partículas fundamentais dos átomos (CARMO, 2015) e na tabela periódica, com seus dados de energia de ionização e afinidade eletrônica (MELO, 2002). Desta forma, infere-se que o conceito de íon e o processo de formação de íons são tópicos de difícil compreensão para os estudantes e podem constituir barreiras para a aprendizagem da ligação iônica.

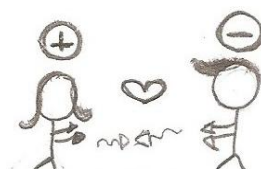
Apenas um estudante (categoria A) relacionou a estabilidade química do composto cloreto de sódio com a diminuição de energia, que para ele é uma consequência da formação da ligação iônica. Outros associaram a estabilidade apenas à formação da ligação iônica (31%), sendo que alguns ainda citaram a regra do octeto de elétrons (categoria B). 17,2% dos sujeitos continuaram atribuindo significados provindos do senso comum à estabilidade química (categorias G e H) e dois estudantes (6,9%) consideraram como critério a dissolução do cloreto de sódio em água, julgando-o como não estável (categoria C). Nesta fase da pesquisa, nenhum estudante atribuiu a estabilidade química do sal de conzinha à energia liberada durante a formação do retículo cristalino.

Quanto à representação da ligação iônica, identificam-se modelos do tipo: atração entre dois átomos (categoria C e F), atração entre dois íons (categoria A), transferência de elétrons (categoria B) e compartilhamento de elétrons entre átomos (categoria E). O modelo reticular, que ilustra as interações eletrostáticas entre vários íons, não foi contemplado pelos estudantes.

Por intermédio destas representações, percebe-se que os sujeitos do contexto da SEA apresentam concepções do tipo 'NaCl - molécula', já prevista em outros trabalhos da área (MENDONÇA, 2008; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006) e identificada na primeira parte dessa pesquisa, durante a investigação com os estudantes do nível médio após o ensino formal do tópico. Esse tipo concepção impede um raciocínio coerente por partes dos estudantes, que não relacionam as propriedades físicas dos compostos iônicos com sua estrutura química. Espera-se que ao longo da SEA, o pensamento da estrutura em rede para os compostos iônicos tenha sido desenvolvido.

Representações com ideias animistas foram detectadas, como, por exemplo, a exposta na Figura 35. O Es23 atribuiu vida e sentimento aos íons, que estão representados na forma de bonecos e com sinais opostos. Segundo Bachelard (2009), os obstáculos animistas estão presentes em ideias pré-científicas e devem ser superados para a construção de uma maior racionalidade.

Figura 35 - Representação animista da ligação iônica

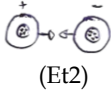
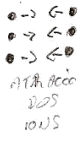





Fonte: Autores.

Ressalta-se que nesta dimensão e fase da pesquisa, foram identificados obstáculos epistemológicos do senso comum, conhecimento geral e animista.

No contexto tradicional, foram avaliadas 74 respostas e 16 representações dos 21 sujeitos. As categorias que emergiram são apresentadas no Quadro 47.

Quadro 47 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase inicial para o contexto tradicional

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>A)</b> Relacionam a estabilidade química com a atração eletrostática e a diminuição de energia do sistema. Pensam no retículo cristalino como uma forma de organização dos átomos após a ligação iônica. Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam adequadamente. Representaram a ligação iônica por meio da atração entre íons. Não empregam adequadamente alguns conceitos científicos.</p>	<p><i>Sim (NaCl é estável), com a ligação dos elementos Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> ocorreu abaixamento da energia e o aumento da estabilidade (Et2).</i>  <i>[...] retículo cristalino é a forma dos átomos após a ligação química para manter a estabilidade e formar o novo elemento (Et2).</i>  <i>Ele (retículo cristalino) é sólido e parece um cristal (Et21).</i></p>  	02
<p><b>B)</b> Relaciona a estabilidade química com a diminuição de energia, consequência da formação da ligação iônica. Não reconhece a formação dos íons. Representa um gráfico que expressa a energia dos átomos separados e após a formação da ligação iônica.</p>	<p><i>Sim (NaCl é estável), pois ocorreu a ligação química que serve para dar estabilidade, ou seja, ter pouca energia (Et1).</i></p> 	01
<p><b>C)</b> Atribuem a estabilidade química à formação da ligação iônica, alguns citam o octeto de elétrons ou a anulação de cargas. Entendem que o retículo cristalino é o nome dado ao composto formado pela ligação iônica. Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam. Representam a ligação iônica por meio da transferência de elétrons.</p>	<p><i>Sim está estável, porque ao fazer a ligação iônica eles ficaram estáveis com 8 e- (Et19).</i>  <i>Sim (NaCl é estável), pois o Na é positivo e Cl é negativo, os dois se anulam e se tornam estáveis (Et19).</i>  <i>Um metal e um não metal se ligam, o composto final recebe o nome de retículo cristalino (Et20).</i></p> 	04
<p><b>D)</b> Acreditam que o retículo cristalino é a representação do grão do sal de cozinha. Relacionam a estabilidade química com a formação da ligação iônica. Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam adequadamente. Representam a ligação iônica por meio da transferência de elétrons.</p>	<p><i>Os átomos se ligam para formar a estabilidade (Et4).</i>  <i>Os retículos são os cristaisinhos do sal (Et5).</i></p> 	04
<p><b>E)</b> Estabilidade química concebida como uma igualdade ou equilíbrio. Acreditam que os retículos cristalinos são moléculas, não reconhecem a formação de íons.</p>	<p><i>Está estável (NaCl), porque está igual a quantidade de Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup> (Et7).</i>  <i>São (os retículos cristalinos) moléculas invisíveis ao olho nu (Et14).</i></p>	02
<p><b>F)</b> Outros: Ideias confusas ou não responderam</p>	<p><i>O sal de cozinha está com uma energia elevada. Nunca ouvi falar sobre retículo cristalino (Et3).</i></p>	08

Dez (47,6%) estudantes reconheceram que o sódio forma cátion e o cloro forma ânion e nenhum justificou adequadamente a formação desses íons. O restante dos sujeitos (52,4%) não reconheceu ou não respondeu a esta questão. Esses resultados, juntamente com os obtidos no contexto da SEA, reforçam a teoria de que o ensino deste tópico não está ocorrendo de forma eficaz no nível médio.

Na análise das representações, identificaram-se modelos do tipo: atração entre íons (categoria A), união de dois átomos (categoria B) e transferência de elétrons (categorias C e D).

Os desenhos da categoria A, expostos no Quadro 47, demonstram o entendimento de que a interação eletrostática é a responsável pela união dos íons e, em específico, a representação do Et21 remete a existência de interações entre vários íons, indicando que o estudante apresenta uma ideia próxima a de estrutura em rede. Esse tipo de noção não havia aparecido entre os sujeitos do contexto da SEA. Nos demais estudantes do contexto tradicional, predomina a concepção do tipo 'NaCl - molécula', comentada anteriormente.

Alguns estudantes (14,3%) associaram a formação da ligação iônica com a diminuição de energia. Inclusive o Et1 representou a relação por meio de um gráfico, no qual ilustra os átomos separados em um nível energético maior do que quando unidos pela ligação. Os demais estudantes atribuíram a estabilidade química do cloreto de sódio à formação da ligação iônica, ao octeto de elétrons ou à neutralidade das cargas. Outros ainda apresentaram ideias relacionadas a um estado de equilíbrio ou igualdade de íons.

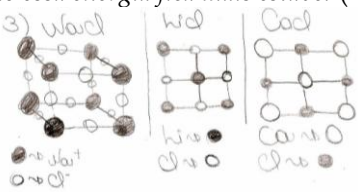

Apenas as respostas da categoria A fizeram menção ao retículo cristalino como uma forma de organização dos átomos. Apesar de se referirem a átomos em vez de íons, esses estudantes foram os que apresentaram ideias mais próximas das aceitas cientificamente. Os estudantes da categoria C pensaram que o retículo cristalino é o nome do composto formado pela ligação iônica e os da categoria D acharam que é a representação de pedaços visíveis do cloreto de sódio sólido. Já os estudantes da categoria E se referiram ao retículo cristalino como moléculas de NaCl.

▪ Fase intermediária

As respostas analisadas na fase intermediária da dimensão Ligação iônica foram obtidas ao final do eixo 2 da SEA, durante o período de desenvolvimento do conteúdo de ligações químicas. Nesta fase da pesquisa foram analisadas 153 respostas e 58 representações, classificadas em cinco categorias expostas no Quadro 48.



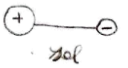
Quadro 48 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase intermediária para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons. Reconhecem a formação de íons e justificam adequadamente. Compreendem a influência do raio iônico ou da carga do íon na energia reticular.</p>	<p>O Na, Li e Ca formam cátions, porque esses átomos têm menor energia de ionização (Es6). O cloro forma ânion, já que tem a maior energia que atrai elétrons (afinidade eletrônica). Liberando essa energia fica mais estável (Es5).</p>  <p><math>E = q_1 \cdot q_2 / r \rightarrow</math> Através da fórmula (sic), podemos dizer que quanto maior a energia reticular menor tem que ser o raio atômico, portanto o raio atômico do lítio é menor do que o do sódio, consequentemente a energia do LiCl é maior que a do NaCl (Es17).</p>	08
<p>B) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons, mas não justificam adequadamente. Compreendem pelo menos um dos fatores (raio ou carga iônica) que influenciam a energia reticular.</p>	<p>Na, Li, Ca, eles doam, porque têm uma maior energia e o Cl recebe porque tem uma energia menor (Es15).</p>  <p>(Es4)</p> <p>O sal Y (LiCl) tem uma maior energia reticular porque o raio atômico do Li é menor em relação ao Na do sal X, que contém uma energia menor [...] É inversamente proporcional (Es3).</p>	08

Quadro 48 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase intermediária para o contexto da SEA

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>C) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons. Reconhecem a formação de íons, mas não justificam adequadamente. Não relacionam a energia reticular com o raio e carga dos íons. Alguns não associam a energia liberada na formação do retículo cristalino com a estabilidade do composto, continuam se baseando na regra do octeto.</p>	<p><i>Na, Li, Ca formam cátions, são das famílias 1 e 2A, é mais fácil doar. O Cl forma ânion, é da família 7A, é mais fácil receber 1 (Es2).</i></p> 	07
<p>D) Entendem que a atração eletrostática é responsável pela ligação iônica, entretanto representam o retículo cristalino como uma interação entre dois íons, não desenvolveram a ideia de rede. Reconhecem a formação de íons, mas não justificam adequadamente.</p>	<p><i>Na, Li e Ca formam cátions e o Cl forma ânion, pois as famílias 1A, 2A, 3A doam e as famílias 5A, 6A, 7A recebem (Es1).</i></p> 	03
<p>E) Representam o retículo como uma atração entre um par de íons. Não relacionam a energia reticular com os fatores que a influenciam e não determinam corretamente a fórmula mínima dos compostos iônicos. Não reconhecem a formação de íons.</p>	<p><i>Cátions Na, Ca, cloreto de sódio e cálcio se formam por terem uma energia menor. Ânions Li e Cl se formam por ter uma energia maior (Es9).</i></p> 	03

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos indicam avanços no conhecimento dos estudantes em relação ao processo de formação de íons. Dos 29 sujeitos, apenas três (10,3%) não identificaram corretamente os átomos que possuem tendência de formar cátions ou ânions, comparando com a fase inicial esse índice foi de 44,8%.

Entre os 26 estudantes (89,7%) que reconheceram a formação de íons, apenas oito (27,4%) apresentaram explicações adequadas, baseadas na energia de ionização e afinidade eletrônica (Categoria A). Ao que parece, o principal problema dos estudantes não está no reconhecimento dos íons, e sim na formulação de justificativas que fundamentem cientificamente suas opções. No entanto, é válido ressaltar que na fase anterior, nenhum estudante interpretou a formação de íons por meio de aspectos energéticos e das propriedades periódicas. Esse resultado sinaliza

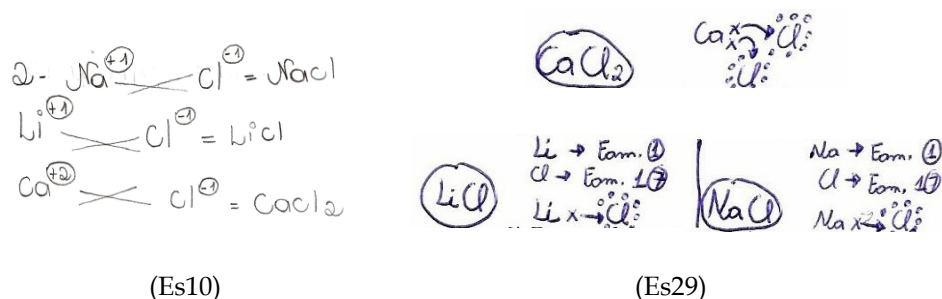


que as atividades desenvolvidas no eixo 2 da SEA auxiliaram os estudantes a elaborarem explicações mais coerentes.

Pelas categorias emergidas, percebe-se que a noção de atração entre íons foi desenvolvida, o que pode ser consequência da ênfase dada a esse aspecto durante a abordagem da ligação iônica na SEA. Por intermédio desse dado juntamente com a informação de que aproximadamente 90% dos sujeitos identificaram a formação de íons, pode-se inferir que os estudantes construíram a noção de que a interação eletrostática é responsável pela união dos íons. Retomando os resultados obtidos na primeira parte desta pesquisa, apresentados na unidade I, apenas 11 (8,9%) dos 124 estudantes investigados utilizaram o modelo eletrostático na representação de um composto iônico. O resultado obtido com os 29 estudantes que participaram da SEA é importante, pois possibilita o entendimento da natureza da ligação iônica e a diferenciação entre átomos e íons, visto que na primeira fase, muitos se referiram ou representaram esse tipo de ligação como uma união de átomos.

Sobre a determinação das fórmulas mínimas dos compostos iônicos, solicitada no questionário E (Apêndice O), grande parte dos estudantes (89,7%) não apresentou dificuldades. Na resolução do exercício, geralmente eles aplicaram regras simples por meio da inversão das cargas dos íons ou da representação da transferência de elétrons, conforme ilustra a Figura 36.

Figura 36 - Representações da determinação das fórmulas mínimas feitas pelos estudantes



Fonte: Autores.

Durante a SEA foram desenvolvidas atividades de modelagem e propostos exercícios com evidências empíricas da estrutura em rede do cloreto de sódio, com o

propósito de desenvolver um pensamento baseado no modelo reticular para os compostos iônicos. Pelos resultados obtidos, observa-se que 23 estudantes (79,3%) esquematizaram interações entre vários íons, construindo uma representação do retículo cristalino em rede para os sais (categorias A, B e C).

A construção deste modelo foi fundamental para o estabelecimento de relações entre os aspectos observáveis dos compostos iônicos com sua estrutura íntima e propriedades físicas. Destaca-se um trecho da resposta do Es20 para exemplificar o entendimento da estrutura em rede e a relação disso com a interpretação do nível macroscópico:

*“Uma ligação iônica é uma atração eletrostática entre íons de cargas opostas (cátions e ânions). Os compostos iônicos são geralmente sólidos cristalinos, por isso seu alto ponto de fusão. Para justificar seu alto ponto de fusão é necessário haver mais de uma interação eletrostática. Essas várias interações eletrostáticas formam o retículo cristalino”* (Es20).



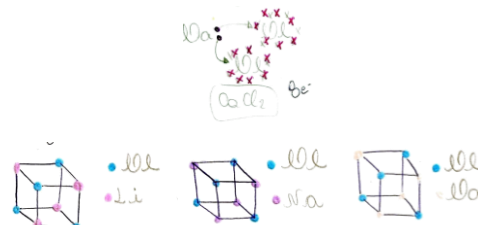
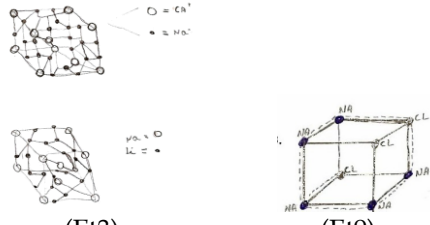
A ideia de ‘molécula’ para os compostos iônicos foi detectada em seis estudantes (20,7%), classificados nas categorias D e E. Esses alunos restringiram seu pensamento à transferência de elétrons entre um par de átomos, construindo a ideia de que ocorre apenas uma ligação nos compostos iônicos. Apesar de não ter sido enfatizado na SEA, esse modelo apareceu nas concepções dos estudantes, o que pode revelar que em outros momentos da vida escolar, por exemplo, no ensino fundamental, ele foi utilizado na abordagem da ligação iônica (TAN; TREAGUST, 1999; MENDONÇA, 2008).

Mais da metade dos estudantes (55,1%) conseguiu estabelecer relações entre a influência da carga ou raio dos íons com a energia reticular liberada na formação do retículo cristalino. Alguns se basearam na equação de Coulomb para fundamentarem suas respostas, como pode ser observado no trecho extraído da resposta do Es17 (Quadro 48, categoria A).


No contexto tradicional, foram avaliadas 101 respostas e 40 representações dos 21 sujeitos. As categorias que emergiram deste processo são apresentadas no Quadro 49.

Quadro 49 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase intermediária para o contexto tradicional

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons. Reconhecem a formação dos íons, mas não justificam adequadamente. Determinam as fórmulas mínimas dos compostos iônicos. Relacionam pelo menos um dos fatores (raio ou carga iônica) com o valor da energia reticular.</p>	<p>Na, Li e Ca formam cátions, porque estão nas famílias 1 e 2A e têm a tendência de doar e-. O cloro forma ânion, porque está família 7A e tem tendência de receber 1 e- (Et7).</p>  <p>O lítio tem menor raio, conseqüentemente vai formar um sal com maior energia reticular que o sódio, como podemos observar na fórmula (sic): <math>E = q_1 \cdot q_2 / r</math> (Et17).</p>	06
<p>B) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons, no entanto não diferencia os cátions dos ânions em sua representação. Reconhece a formação de íons e justifica adequadamente. Não determina as fórmulas mínimas dos compostos iônicos e não relaciona a energia reticular com o raio e carga dos íons.</p>	<p>Na, Li, Ca formam cátions, pois possuem menor energia de ionização, logo, é mais fácil perder um ou dois elétrons (Et1).</p> 	01
<p>C) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons. Reconhecem a formação de íons, mas não justificam adequadamente. Determinam as fórmulas mínimas dos compostos iônicos. Não relacionam a energia reticular com o raio e carga dos íons. Alguns não associam a energia liberada na formação do retículo cristalino com a estabilidade do composto, continuam se baseando na regra do octeto.</p>	<p>Na, Li, Ca forma cátion porque sua energia é maior. O Cl forma ânion, porque sua energia é menor (Et4).</p> 	05
<p>D) O retículo cristalino é compreendido como interações entre vários íons, alguns o representam de forma incoerente com atrações entre cátions ou entre ânions. Reconhecem a formação de íons, mas não justificam adequadamente. Não determinam a fórmula mínima dos compostos iônicos e não estabelecem relações entre os fatores (carga e raio) que influenciam na energia reticular.</p>	<p>Na, Li e Ca formam cátions porque são positivos, metais doam. Cl forma ânion, porque é negativo, não metais recebem (Et3).</p> 	05

Quadro 49 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase intermediária para o contexto tradicional

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
E) Representam o retículo como uma atração entre um par de íons. Não relacionam a energia reticular com os fatores que a influenciam e não determinam corretamente a fórmula mínima dos compostos iônicos. Não reconhecem a formação de íons.	 (Et21)	04

Fonte: Autores.

Sobre a formação de íons, 17 estudantes (81%) compreenderam quais átomos formam cátions e quais podem formar ânions, porém apenas um deles justificou de forma coerente. Os demais apresentaram explicações aplicando regras diretas, sem a utilização de aspectos energéticos e das propriedades periódicas. Os estudantes da categoria E (19%) não identificaram corretamente os íons.

A determinação das fórmulas mínimas dos compostos iônicos nesse contexto não foi considerada uma tarefa trivial, pois apenas 11 (52,4%) dos 21 estudantes realizaram o exercício adequadamente. Comparando com os estudantes da SEA, esse número foi de aproximadamente 90%.

A representação da estrutura na forma 'de rede' foi contemplada por 17 estudantes (81%). Dentre essas, detectaram-se algumas incoerências do tipo atrações entre positivo - positivo e negativo - negativo ou o emprego dos íons sem identificação, o que revela a não compreensão do modelo eletrostático. As representações dos estudantes Et3, Et9 (categoria D) e Et1 (categoria B), expostas no Quadro 49, exemplificam essas incoerências. No entanto, é possível afirmar que mesmo esses estudantes desenvolveram a ideia de que o retículo cristalino consiste em um aglomerado de íons.

Também foi identificada a ideia de 'molécula' para os compostos iônicos, classificada na categoria E (19%). Esse tipo de representação leva os estudantes a pensar que há apenas uma ligação entre os íons e que os compostos iônicos existem como entidades discretas.

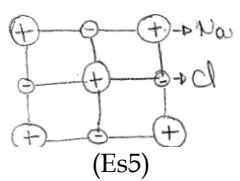
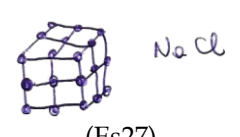
Somente seis estudantes (28,6%) estabeleceram relações entre a energia reticular dos compostos iônicos e os fatores que a influenciam (categoria A). O restante não fez esta associação ou não respondeu à questão (71,4%).

▪ Fase final

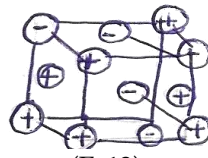
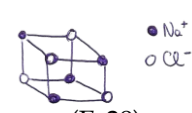


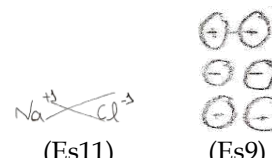
Os dados considerados para análise na fase final foram obtidos após a aplicação da SEA. Para a dimensão Ligação iônica, no contexto de SEA, foram avaliadas 115 respostas e 58 representações dos 29 sujeitos. O Quadro 50 apresenta as categorias que emergiram desse processo.

Quadro 50 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase final para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>A)</b> A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons e apresentam noções de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos por intermédio do estabelecimento de relações com suas propriedades.</p>	<p>A ligação iônica acontece com íons de cargas opostas (ânions e cátions), é uma atração eletrostática, formando um retículo cristalino (Es3).</p>  <p>(Es5)</p> <p>É possível agrupar as substâncias por ponto de fusão. NaCl, CaCl<sub>2</sub> são compostos iônicos (Es5).</p>	07
<p><b>B)</b> A ligação iônica é atribuída às forças eletrostáticas entre vários íons. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, mas não diferenciam os cátions dos ânions, o que pode indicar a não compreensão das forças de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos, mas não estabelecem relações com suas propriedades.</p>	<p>Interação eletrostática entre íons de cargas opostas: cátion e ânion (como a ligação iônica ocorre) (Es2).</p>  <p>(Es27)</p>	05

Quadro 50 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase final para o contexto da SEA

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
C) A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons, mas apresentam incoerências nas forças de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos, mas não estabelecem relações com suas propriedades.	<p>Ligação eletrostática entre muitos íons (Es13).</p>  <p>(Es13)</p>	04
D) A ligação iônica ocorre devido à transferência de elétrons. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons na maioria das vezes, e apresentam noções de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos pela aplicação de regras diretas, sem relacionar com suas propriedades.	<p>Metal doa elétron para não metal (como a ligação iônica ocorre) (Es23).</p>  <p>(Es29)</p> <p>Os compostos iônicos são NaCl e CaCl<sub>2</sub>, pois são formados por metal e não metal (Es23).</p>	04
E) A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons e apresentam noções de atração e repulsão. Não reconhecem os compostos iônicos e não empregam adequadamente alguns conceitos científicos.	<p>É uma interação eletrostática entre cátions e ânions, ou seja, ligação entre elétrons positivos com negativos (sic) (Es17).</p>  <p>(Es19)</p>	02
F) A ligação iônica é atribuída às forças eletrostáticas entre vários íons. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, mas não diferenciam os íons, o que pode indicar a não compreensão das forças de atração e repulsão. Não reconhecem os compostos iônicos.	<p>Ocorre através da formação do retículo cristalino (Es18).</p>  <p>(Es1)</p>	04
G) Apresentam contradições, na maioria das vezes representam o retículo cristalino como uma atração entre um par de íons. Em alguns momentos representam na forma "de rede" com incoerências nas forças de atração e repulsão. Não reconhecem os compostos iônicos.	<p>Ocorre uma interação entre cátion e ânions (Es11).</p>  <p>(Es11)      (Es9)</p>	03

Fonte: Autores.

As respostas e representações apontam que o modelo reticular ou 'de rede' para os compostos iônicos foi assimilado pelos estudantes da SEA. Até mesmo na

categoria G encontraram-se indícios desse modelo, apesar de ocorrer concomitantemente com a ideia de 'molécula'.

Os estudantes classificados nessa categoria (10,3%) estão em uma fase de transição de ideias, entre um modelo mais simples (representação discreta da ligação iônica) e outro mais complexo (representação reticular). Eles encontram-se numa situação contraditória, pois os indícios experimentais fornecidos e as propriedades dos compostos iônicos, na maioria das vezes, não podem mais ser explicados pelos modelos que utilizam. Para Bachelard (2009), eles ainda não romperam com concepções de origens realistas ou empiristas. Sob nosso ponto de vista, a dualidade de modelos faz parte da construção da racionalidade científica, e talvez, esses estudantes precisem de um tempo maior ou de mais indícios para que rompam com as concepções que impedem seu progresso científico.

É válido salientar que na fase inicial nenhum dos estudantes apresentou a noção de modelo reticular, já na fase intermediária esse número subiu para 23 estudantes (79,3%) e na fase final para 26, praticamente 90%, tirando os três da categoria G. Atribuí-se essa evolução às atividades de modelagem, experimentais e exercícios que enfatizaram este aspecto. Além disso, Kabapinar, Leach e Scott (2004) argumentam sobre a importância da problematização realizada na SEA, pois proporciona aos estudantes a identificação de suas limitações, o que favorece a percepção de que os modelos científicos podem ajudar na elaboração de explicações que explorem novas situações.

Em algumas representações dos retículos cristalinos, categorias C e G (24,1%), foram identificadas incoerências nas interações (atrações e repulsões) entre os íons. Em outras representações, categorias B e F (31%), nas quais os estudantes não apresentaram as cargas dos íons, ficou-se em dúvida com relação à compreensão dessas interações. Esse tipo de equívoco não havia sido identificado no contexto da SEA em fases anteriores, em específico na intermediária, quando os estudantes começaram a desenvolver a ideia 'de rede', o que implica que durante a construção do conhecimento também ocorrem retrocessos, havendo a necessidade de rupturas para que volte a progredir. Espera-se que, nas próximas dimensões, os estudantes superem este obstáculo para que entendimento sobre a natureza das ligações

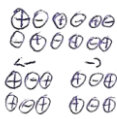
químicas não seja comprometido, visto que foi fundamentado no modelo eletrostático.

Quanto ao agrupamento dos compostos pela semelhança de comportamento e propriedades, 69% dos sujeitos reconheceram o cloreto de sódio e de cálcio como iônicos. Dentre esses, apenas sete (24,1%) fizeram relações com as propriedades físicas dos compostos (categoria A), o restante realizou o reconhecimento por meio da aplicação de regras. 31% não reconheceram nenhum ou pelo menos um dos dois compostos. A maior parte das confusões ocorreu entre as substâncias metálicas e iônicas, o que pode ser consequência das altas temperaturas de fusão, parâmetro utilizado pelo exercício para comparação (Apêndice AD, questão 1).

Ainda nesta fase da pesquisa, identificaram-se respostas em que conceitos científicos foram empregados inadequadamente, por exemplo, o trecho destacado da categoria E (Quadro 50). Ao longo das fases, perceberam-se confusões em tópicos básicos da Química, principalmente relacionados à estrutura da matéria e aos conceitos de substância pura e elemento químico. De maneira geral, sugere-se que os professores retomem esses tópicos quando possível e investiguem as concepções dos estudantes, pois são alicerces para a construção dos próximos conceitos de Química.

Para o contexto tradicional, foram analisadas 79 respostas e 36 representações. As categorias emergidas são apresentadas no Quadro 51.


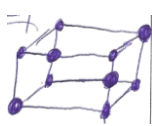

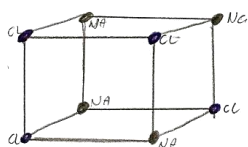

Quadro 51 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase final para o contexto tradicional

		(continua)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons e apresentam noções de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos por intermédio do estabelecimento de relações com suas propriedades.	<p><i>A ligação iônica é resultado da interação eletrostática entre cátions e ânions (Et2). NaCl e CaCl<sub>2</sub> são iônicos, porque têm alto ponto de fusão e formam retículo cristalino (Et8).</i></p>  <p>(Et17)</p>	03

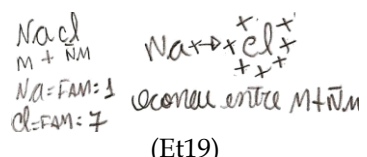


Quadro 51 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase final para o contexto tradicional

(continuação)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>B)</b> A ligação iônica é atribuída às forças eletrostáticas entre vários íons. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, mas não diferenciam os cátions dos ânions, o que pode indicar a não compreensão das forças de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos por intermédio do estabelecimento de relações com suas propriedades.</p>	<p>A ligação iônica é uma interação eletrostática entre íons de cargas opostas. (Et12).</p>  <p>com a interação ocorre um alto ponto de fusão, formando o <u>retículo cristalino</u> (Et14)</p>	02
<p><b>C)</b> A ligação iônica é atribuída às forças eletrostáticas entre vários íons. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, mas não diferenciam os cátions dos ânions, o que pode indicar a não compreensão das forças de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos, mas não estabelecem relações com suas propriedades.</p>	<p><math>\text{NaCl}</math> e <math>\text{CaCl}_2</math> são iônicos (Et1).</p>  <p>(Et10)</p>	02
<p><b>D)</b> A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons, mas apresentam incoerências quando representam as forças de atração e repulsão. Reconhecem os compostos iônicos, mas não estabelecem relações com suas propriedades.</p>	<p>A ligação iônica é uma força entre cátions e Ânions (Et11).</p>  <p>(Et5)</p>	03
<p><b>E)</b> A ligação iônica é resultante de forças eletrostáticas que unem íons de cargas opostas. Representam os compostos iônicos por meio do modelo reticular, diferenciam os íons, mas apresentam incoerências quando representam as forças de atração e repulsão. Não reconhecem os compostos iônicos.</p>	 <p>(Et9)</p>	07
<p><b>F)</b> A ligação iônica ocorre devido à transferência de elétrons. Não desenvolveram a ideia de retículo cristalino, apresentam o modelo de 'molécula'. Reconhecem os compostos iônicos, sem estabelecerem relação com suas propriedades.</p>	<p>A ligação iônica acontece pela transferência de elétrons do metal para o não metal (Et18).</p>  <p>(Et20)</p>	02

Quadro 51 - Categorias da dimensão Ligação iônica na fase final para o contexto tradicional

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>G) A ligação iônica ocorre devido à transferência de elétrons. Não desenvolveram a ideia de retículo cristalino, apresentam o modelo de 'molécula' e não reconhecem os compostos iônicos.</p>	<p>Ela (ligação iônica) aconteceu entre um átomo de metal e um átomo de não metal (M+NM) (Et21).</p>  <p>(Et19)</p>	02

Fonte: Autores.

Pelas categorias do Quadro 51 é possível inferir que alguns estudantes (19%) não desenvolveram a noção de retículo cristalino (categorias F e G). O pensamento deles ficou restrito a ideia de transferência eletrônica, o que resultou em representações com apenas uma ligação entre os íons, ou seja, o modelo de 'molécula' para os compostos iônicos. Como esperado, esses alunos não estabeleceram relações entre as propriedades físicas e a estrutura química dos compostos.

A maioria dos estudantes deste contexto (81%) utilizou o modelo 'de rede' na representação dos compostos iônicos, ou seja, compreenderam que ocorrem várias interações entre os íons no retículo cristalino. Apesar disto, parte deles não diferenciou cátions de ânions (19%), categorias B e C, ou, esquematizou de forma incoerente as interações entre as cargas destes íons (47,6%), categorias D e E. Apenas três estudantes (14,3%), classificados na categoria A, apresentaram ideias e representações consideradas adequadas em relação às interações eletrostáticas, além de associarem as propriedades físicas com a estrutura reticular dos compostos.

A respeito do agrupamento dos compostos pela semelhança de comportamento e propriedades, 57,1% dos estudantes reconheceram o cloreto de sódio e de cálcio como iônicos, enquanto que 42,9% não reconheceram um ou os dois compostos.

### II.5.2.2 Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis

A classificação das categorias do contexto da SEA foi baseada no Quadro 33, apresentado na seção método de análise dos dados. Na sequência é exposto o resultado desta classificação.

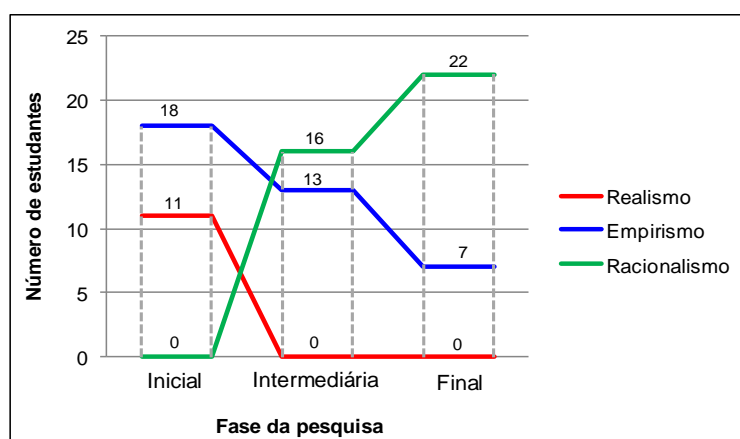
Quadro 52 - Classificação das categorias da dimensão Ligação iônica por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto da SEA

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	I	-	-
Realismo - nível II	G, H	-	-
Empirismo - nível I	C, E, F	-	-
Empirismo - nível II	D	E	-
Empirismo - nível III	B	-	-
Empirismo - nível IV	-	-	-
Empirismo - nível V	A	C, D	D, G
Racionalismo - nível I	-	B	F
Racionalismo - nível II	-	-	B, C, E
Racionalismo - nível III	-	A	-
Racionalismo - nível IV	-	-	A

Fonte: Autores.

O resultado da avaliação das concepções dos estudantes considerando apenas as zonas filosóficas por fase da pesquisa é exposto na Figura 37.

Figura 37 - Concepções sobre Ligação iônica por zona e fase da pesquisa para o contexto da SEA



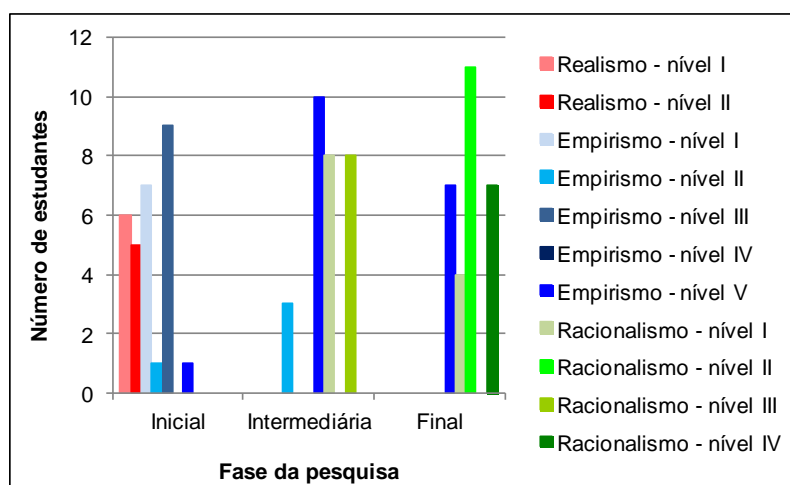
Fonte: Autores.

Na fase inicial, não foram encontradas concepções racionalistas, isso significa que as ideias dos estudantes são originárias do senso comum ou de observações em sala de aula ou experimentos. Na fase intermediária, após a participação nas atividades do eixo 2 da SEA, começou a predominar noções racionalistas (55,2%), nas quais o papel das teorias aumenta. Na fase final, essas ideias chegaram a 75,9%, o que sugere que os estudantes interpretaram a ligação iônica como interações eletrostáticas entre íons de cargas opostas, tendo como resultado a formação do retículo cristalino. As ideias empiristas, caracterizadas pela aplicação de regras, corresponderam a 24,1% e não foram encontradas noções realistas nesta fase.

Pelo gráfico da Figura 37 é notório o avanço conceitual obtido com os estudantes da SEA nesta dimensão. Além disso, é possível inferir que durante a construção do conhecimento houve a superação de obstáculos epistemológicos, principalmente os originados da observação primeira, dentre os quais se destaca a concepção de que o retículo cristalino corresponde ao grão do sal de cozinha, bastante presente na fase inicial.

Levando em consideração os níveis hierárquicos elaborados para cada zona, as categorias foram reavaliadas e o resultado obtido é exposto na Figura 38.

Figura 38 - Concepções sobre Ligação iônica por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto da SEA



Fonte: Autores.

Na dimensão Ligação iônica obteve-se uma maior diversidade de respostas que na dimensão anterior (Estabilidade química), o que resultou em mais níveis dentro de cada zona. É perceptível que as ideias dos estudantes acerca da ligação iônica evoluíram ao longo das fases da pesquisa.

A conceituação mais avançada na fase inicial, emitida por apenas um estudante, foi enquadrada na zona empirista nível V, que está baseada na aplicação de leis gerais tanto para a previsão dos íons, quanto para explicação da ocorrência da ligação, no entanto, apresenta noções energéticas. As demais concepções desta fase estão atreladas à observação primeira e ao conhecimento geral.

Na fase seguinte surgiram ideias racionalistas, níveis I (27,6%) e III (27,6%), o que indica um conhecimento mais articulado e a assimilação da estrutura do retículo cristalino. Isso sinaliza que, na fase intermediária, mais da metade dos estudantes compreendeu a ligação iônica como consequência de interações entre vários íons e representou os compostos iônicos utilizando o modelo 'de rede'. Os níveis I e III referem-se ao número de relações com outros conceitos encontrados nas explicações, que foram duas e quatro respectivamente.

Já na fase final, sete estudantes (24,1%) tiveram suas respostas e representações classificadas na zona racionalista nível IV, devido ao aprofundamento e às várias relações estabelecidas. Eles associaram a ligação iônica com forças eletrostáticas entre cátions e ânions, diferenciando-os, construíram o modelo 'de rede' para retículo cristalino, apresentaram noções referentes às diversas interações que ocorrem entre os íons (atrações e repulsões), além de reconhecerem os compostos iônicos por meio de suas propriedades físicas. Ainda encontraram-se repostas racionalistas dos níveis I e II, nas quais foram estabelecidas duas ou três relações respectivamente, além de detectadas incoerências conceituais no que se refere, principalmente, à atração entre íons de mesma carga. As respostas classificadas como empiristas - nível V são caracterizadas por uma transição de ideias entre diferentes zonas. Por exemplo, os estudantes empregaram o modelo 'de rede' e de molécula simultaneamente para representar o retículo cristalino.

A fim de acompanhar individualmente as ideias dos 29 sujeitos do contexto da SEA, no Quadro 53 apresenta-se a análise por zona e nível para cada um, nas três fases da pesquisa na dimensão Ligação iônica.

Quadro 53 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto da SEA sobre Ligação iônica

	Es1	Es2	Es3	Es4	Es5	Es6	Es7	Es8	Es9	Es10	Es11	Es12	Es13	Es14	Es15	Es16	Es17	Es18	Es19	Es20	Es21	Es22	Es23	Es24	Es25	Es26	Es27	Es28	Es29		
F <sub>1</sub>	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível III	Empirismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível III	Realismo - nível II	Empirismo - nível V	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	
F <sub>2</sub>	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível V	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível II	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	
F <sub>3</sub>	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível V

Legenda:

Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I
Realismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II
	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível III
	Empirismo - nível IV	Racionalismo - nível IV
	Empirismo - nível V	

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

Pela análise do perfil epistemológico infere-se que o conhecimento de 89,7% dos estudantes avançou ao longo da pesquisa. Dentre esses, os estudantes Es13 e Es18 (6,9%) apresentaram um perfil completo, pois passaram pelas três zonas do perfil epistemológico, *realismo* → *empirismo* → *racionalismo*, concluindo sua “evolução do espírito científico” (BACHELARD, 2009).

Outros (27,6%) apresentaram perfil do tipo *realismo* → *racionalismo*. Apesar de alguns (Es10, Es17 e Es22) apresentarem retrocessos dentro da zona racionalista, pondera-se que evoluíram levando em conta todas as fases da pesquisa.

Parte dos estudantes (41,4%) apresentou perfil do tipo *empirismo* → *racionalismo*, pois na fase inicial já apresentaram explicações pautadas na observação e em regras gerais. Desse grupo, apenas os Es8 e Es24 retrocederam suas ideias

dentro da zona racionalista, mas considerando a fase inicial, pode-se afirmar que evoluíram ao longo da pesquisa.

Determinados estudantes (Es9, Es23, Es25 e Es28), que correspondem a 13,8% do total, apesar de terem avanços conceituais, apresentaram um perfil somente empirista. Esses não romperam com obstáculos epistemológicos como o conhecimento geral e atribuem à observação o papel de guia de suas previsões, sem estabelecerem um raciocínio sobre a teoria.

Já os estudantes Es11, Es14 e Es29 (10,3%) progrediram seus perfis até a zona racionalista - nível I na fase intermediária, porém ao final da pesquisa retrocederam para a zona empirista - nível V.

Com isso, conclui-se que as atividades da SEA obtiveram resultados satisfatórios com aproximadamente 90% dos estudantes nesta dimensão. Além disso, verifica-se que a construção do conhecimento ocorreu por meio de avanços e retrocessos, o que pode ocasionar um retorno a zonas e níveis inferiores, como no caso mencionado.

A classificação das categorias para o contexto tradicional é apresentada no Quadro a seguir.

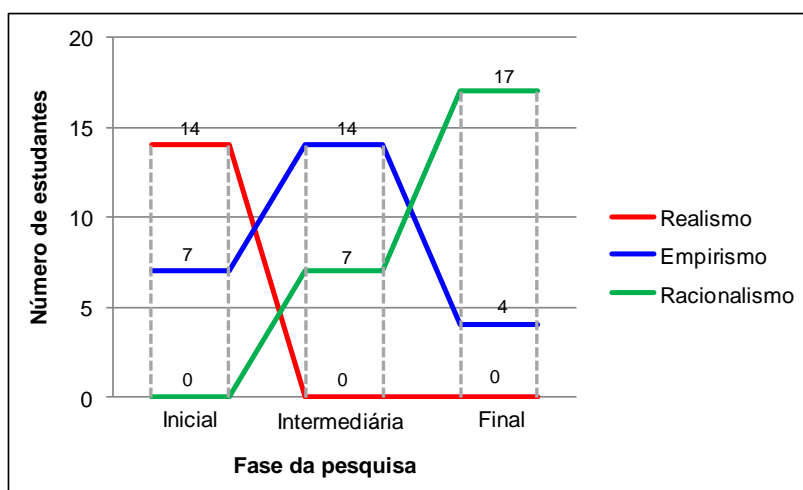
Quadro 54 - Classificação das categorias da dimensão Ligação iônica por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto tradicional

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	F	-	-
Realismo - nível II	D, E	-	-
Empirismo - nível I	-	-	-
Empirismo - nível II	-	E	-
Empirismo - nível III	C	-	G
Empirismo - nível IV	B	C, D	-
Empirismo - nível V	A	-	F
Racionalismo - nível I	-	B	E
Racionalismo - nível II	-	A	C, D
Racionalismo - nível III	-	-	B
Racionalismo - nível IV	-	-	A

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos em relação à análise por zona nas três fases da pesquisa são apresentados na Figura 39.

Figura 39 - Concepções sobre Ligação iônica por zona e fase da pesquisa para o contexto tradicional



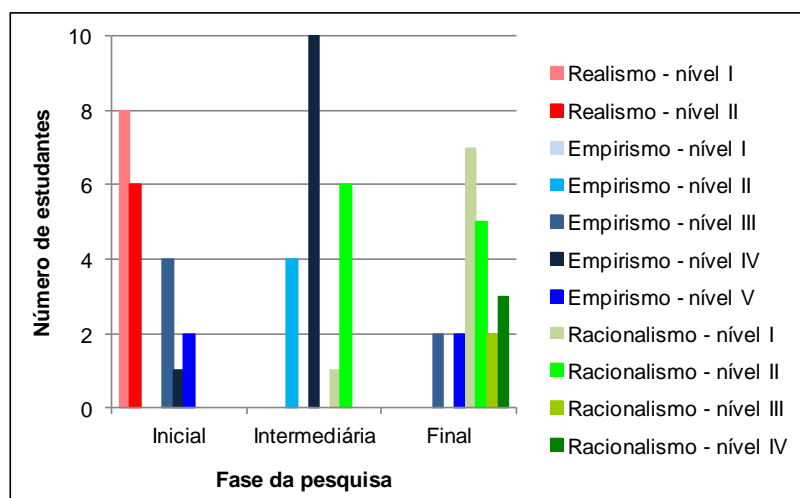
Fonte: Autores.

Semelhante ao ocorrido com os participantes da SEA, na fase inicial do contexto tradicional não foram encontradas concepções racionalistas. A diferença é que as ideias realistas (66,7%) predominaram neste último contexto. O panorama começou a modificar na fase intermediária, quando começaram a aparecer concepções racionalistas (33,3%) e as empiristas se tornaram a maioria (66,7%). Na fase final, 81% dos estudantes apresentaram noções racionalistas e 19% empiristas.

Na Figura 40 é apresentado o gráfico que expõe a análise das categorias considerando os níveis hierárquicos para as três fases da pesquisa.



Figura 40 - Concepções sobre Ligação iônica por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto tradicional



Fonte: Autores.

Pelo gráfico percebe-se que prevaleceram zonas e níveis distintos em cada fase da pesquisa. Inicialmente, 38,1% e 28,6% das categorias foram referentes à zona realista níveis I e II, respectivamente. A concepção mais avançada na fase inicial foi classificada na zona empirista - nível V, alusiva a um conhecimento baseado na observação, porém com noções energéticas.

Na fase intermediária as concepções empiristas começaram a predominar, sendo 19% do nível II e 47,6% do nível IV. As categorias mais avançadas nesta fase da pesquisa foram classificadas na zona racionalista - nível II e agrupam respostas de estudantes que compreenderam a ligação iônica como uma atração entre íons de cargas opostas, resultante da energia liberada na formação do retículo cristalino. Esses estudantes estabeleceram pelo menos três relações entre a ligação iônica e outros tópicos ou não empregaram alguns conceitos científicos adequadamente.

As concepções racionalistas se sobressaíram ao final da pesquisa, visto que foram encontrados todos os níveis hierárquicos neste momento. Uma observação pertinente é que os níveis inferiores obtiveram maior frequência, os níveis I e II somam 57,1%, enquanto que os níveis III e IV contabilizam 23,8%. Isso sugere que apesar de utilizarem noções racionalistas, a maior parte estabeleceu poucas relações ou apresentou incoerências em suas representações e respostas.

A análise individual dos 21 estudantes do contexto tradicional nas três fases da pesquisa para a dimensão Ligação iônica é apresentada no Quadro 55.

Quadro 55 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto tradicional sobre Ligação iônica

	Et1	Et2	Et3	Et4	Et5	Et6	Et7	Et8	Et9	Et10	Et11	Et12	Et13	Et14	Et15	Et16	Et17	Et18	Et19	Et20	Et21	
F <sub>1</sub>	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível V	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível V
F <sub>2</sub>	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível II
F <sub>3</sub>	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível IV	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III

Legenda:

Realismo - nível I

Realismo - nível II

Empirismo - nível I

Empirismo - nível II

Empirismo - nível III

Empirismo - nível IV

Empirismo - nível V

Racionalismo - nível I

Racionalismo - nível II

Racionalismo - nível III

Racionalismo - nível IV

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

Dez estudantes (47,6%) tiveram suas concepções classificadas nas três zonas filosóficas ao longo da pesquisa, constituindo o perfil completo *realismo* → *empirismo* → *racionalismo*. Outros não apresentaram ideias empiristas (19%) e o perfil traçado foi *realismo* → *racionalismo*, enquanto alguns (14,3%) obtiveram o perfil *empirismo* → *racionalismo*, por já partirem de ideias baseadas na observação ou pela aplicação de regras gerais. Foram identificados estudantes (19%) que expuseram ideias apenas empiristas, caracterizadas pelo pensamento restrito à transferência de elétrons e ao modelo de 'molécula' para os compostos iônicos.

Para encerrar esta dimensão, julgou-se relevante retomar os resultados obtidos nos dois contextos, que revelam alguns entraves para o desenvolvimento conceitual da ligação iônica. De maneira geral, houve a construção do conhecimento químico ao longo da pesquisa, perceptível pelo avanço dos estudantes nas zonas e níveis detectados em cada fase.

No entanto, nesta dimensão detectou-se que o emprego de regras como ‘transferência de elétrons’, ‘metal e não metal’, ‘inversão de cargas’, entre outras, constituem “um pensamento empírico, sólido, claro, positivo e imóvel” (BACHELARD, 2009, p. 27). Essas regras, na maioria das vezes, foram aplicadas de forma tão segura pelos estudantes, que os impediu de pensarem a respeito de uma estrutura mais complexa para os compostos iônicos, como o modelo ‘de rede’, levando-os a manterem sua representação ‘de molécula’ ao final da pesquisa. Com isso, concluí-se que o conhecimento empírico, por meio da aplicação de regras gerais sem uma racionalidade, constitui um potencial obstáculo epistemológico para o progresso conceitual dos estudantes.

### **II.5.3 Dimensão - Ligação covalente**


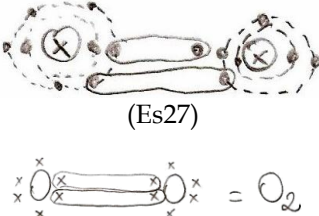
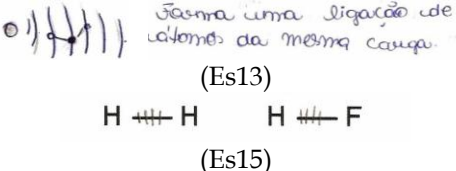
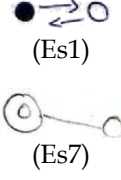

A classificação individual das respostas dos sujeitos do contexto da SEA e do contexto tradicional em categorias pode ser consultada nos Apêndices AE e AF. A seguir, são apresentadas as categorias que emergiram em cada fase da pesquisa.

#### *II.5.3.1 Emergência de categorias*

- Fase inicial

As categorias que emergiram da análise de 54 representações e 114 respostas dos 29 sujeitos do contexto da SEA são apresentadas no Quadro 56.

Quadro 56 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase inicial para o contexto da SEA

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) Representam a estrutura da matéria, identificando o núcleo e a eletrosfera. Entendem a ligação covalente como uma atração entre átomos, que ocorre pelo compartilhamento de elétrons, sendo responsável pela estabilidade dos mesmos. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.</p>	 <p>(Es3)</p> <p>O que este traço indica para você? O compartilhamento dos elétrons</p> <p>(Es16)</p>	03
<p>B) Apresentam noções sobre a estrutura da matéria, alguns representam o núcleo e a eletrosfera. Entendem a ligação covalente como um compartilhamento de elétrons e utilizam a regra do octeto para determinar o número de ligações. Apesar de alguns identificarem elementos com alta eletronegatividade, não compreendem o conceito, pois não apresentam noção da localização dos elétrons em uma ligação polar.</p>	 <p>(Es27)</p> <p>(Es25)</p> <p>Eles estão estáveis, porque agora estão com 8e- na última camada (Es29).</p>	06
<p>C) Representam a estrutura da matéria identificando o núcleo e a eletrosfera. A ligação covalente une átomos 'iguais' ou com a mesma 'carga'. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.</p>	 <p>Forma uma ligação de átomos da mesma carga.</p> <p>(Es13)</p> <p>(Es15)</p>	09
<p>D) Não representam as partes do átomo, o que indica a falta de noções sobre a estrutura da matéria. Entendem que o estabelecimento de uma ligação química proporciona estabilidade e interpretam a representação da ligação covalente como uma atração entre os átomos. Não compreendem a eletronegatividade.</p>	 <p>(Es1)</p> <p>(Es7)</p>	05
<p>E) Representam a estrutura da matéria identificando o núcleo e a eletrosfera. A ligação covalente ocorre por meio da transferência de elétrons para atingir o octeto, conseqüentemente a estabilidade. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.</p>	<p>Um doa e outro recebe até ficar com 8 elétrons, então eles ficam estáveis (Es4).</p>  <p>(Es20)</p>	02
<p>F) Outros: Ideias confusas e/ou não representaram a ligação covalente ou não responderam.</p>	<p>Os compostos estão estáveis porque adquiriram a estabilidade (Es9). A partir da ligação de moléculas eletronegativas, isso (ligação covalente) ocorre com moléculas de cargas opostas (Es6).</p>	04

Os resultados obtidos revelam problemas conceituais referentes à estrutura da matéria. Menos da metade dos estudantes (48,3%) representou o átomo de forma satisfatória, identificando o núcleo e a eletrosfera, bem como as partículas que os constituem (categorias A, C e E). Outros (20,7%) tinham noções, em alguns casos até representaram as partes do átomo, mas não indicaram as partículas constituintes ou apresentaram incoerências quanto à localização ou carga das mesmas (categoria B). Já 31% dos sujeitos representaram o átomo como esferas ou não representaram (categorias D e F).

O trabalho desenvolvido por Carmo (2015) alerta para a dificuldade dos estudantes do ensino médio no estudo da estrutura da matéria. A autora detectou que as partes e partículas do átomo são definidas incorretamente e pouco identificadas por eles. Além disso, aponta que o nível de compreensão desses tópicos avançou no sentido da 1ª para a 3ª série, no entanto destaca que mesmo os alunos da 3ª série tiveram problemas em descrever as partes e partículas dos átomos, sugerindo a retomada destes conceitos constantemente.

Para a construção de um modelo explicativo baseado na interação eletrostática entre os elétrons e núcleos dos átomos é fundamental o conhecimento da estrutura da matéria. Neste sentido, concorda-se com Carmo (2015) em relação à necessidade de retomar este tópico sistematicamente, para que o mesmo não constitua um obstáculo para a aprendizagem.

Nas representações expostas no Quadro 56 e nas respostas obtidas, é possível observar que os estudantes não compreenderam o conceito de eletronegatividade. Alguns, como os classificados na categoria B, identificaram os átomos com maior eletronegatividade, mas não aplicaram o conceito e posicionaram os elétrons no meio da ligação. Esses resultados corroboram com os encontrados nos estudos de Peterson e Treagust (1989), bem como de Fernandez e Marcondes (2006), os quais revelaram que os estudantes não consideram a densidade eletrônica e pensam que o compartilhamento de elétrons ocorre de forma igualitária em todas as ligações covalentes.

Alguns alunos (6,9%) pensaram que na ligação covalente ocorre transferência de elétrons (categoria E). Esse resultado confirma a tese de que esse mecanismo,

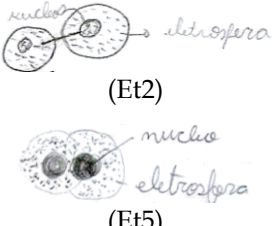
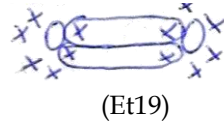
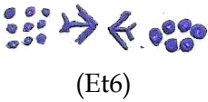
bastante frequente na dimensão da ligação iônica, conduz ao modelo de 'molécula' e reforça a confusão entre compostos iônicos e moleculares.

Também foi identificada a ideia de que a ligação covalente ocorre entre átomos com a mesma carga, presente em 31% das respostas (categoria C). Essa concepção pode ter origem em uma tentativa dos estudantes de diferenciar a ligação covalente da iônica, uma vez que esta última une espécies de cargas opostas.



Para o contexto tradicional, emergiram seis categorias da análise de 32 representações e 78 respostas, conforme o Quadro a seguir.

Quadro 57 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase inicial para o contexto tradicional

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) Representam a estrutura da matéria, identificando o núcleo e a eletrosfera. Entendem a ligação covalente como uma atração entre átomos, que ocorre pelo compartilhamento de elétrons, sendo responsável pela estabilidade dos mesmos. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.	 <p>(Et2)</p> <p>(Et5)</p>	03
B) Apresentam noções sobre a estrutura da matéria. Entendem a ligação covalente como um compartilhamento de elétrons e utilizam como guia a regra do octeto para determinar o número de ligações. Identificam elementos de alta eletronegatividade, mas não compreendem o conceito, pois não apresentam noção da localização dos elétrons em uma ligação polar.	<p><math>O_2 \rightarrow \text{Fórmula} = \text{NÃO METAL} = \text{compartilhado}</math></p>  <p>(Et19)</p>	04
C) Representam o átomo como "esferas", não identificam o núcleo e a eletrosfera. Compreendem a ligação covalente como uma interação entre dois átomos ou vários átomos. Interpretam a estabilidade química fundamentados em aspectos energéticos. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.	 <p>(Et6)</p>	02
D) Não apresentam representações para o átomo, o que indica a falta de noções sobre a estrutura da matéria. Entendem que o estabelecimento de uma ligação química proporciona estabilidade e interpretam a representação da ligação covalente como uma atração entre os átomos. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.	<p>Como é uma ligação compartilhada, os elétrons envolvidos na ligação estão dispostos por toda a extensão do traço (Et8).</p> <p>H —+— H      H —+— F</p>	04

Quadro 57 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase inicial para o contexto tradicional

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
E) Representam a estrutura da matéria identificando o núcleo e a eletrosfera. A ligação covalente ocorre por meio da transferência de elétrons para atingir o octeto, conseqüentemente a estabilidade. Não compreendem o conceito de eletronegatividade.	<p>É a atração entre um cátion e um ânion.</p>  <p>(Et4)</p>	03
F) Outros: Ideias e representações confusas	<p>Uma ligação entre outros átomos e a eletrosfera.</p>  <p>(Et14).</p>	05

Fonte: Autores.

Entre os sujeitos do contexto tradicional, apenas 28,6% representaram o átomo de forma satisfatória (categoria A). 19% deles apresentaram noções (categoria B), por exemplo, esquematizaram os elétrons em torno do símbolo atômico, passando a ideia de que entenderam a estrutura da matéria, ou representaram as partes do átomo com incoerências no que se refere à identificação ou localização das partículas. A maioria (52,4%) não representou o núcleo e a eletrosfera (categoria C), expondo o átomo por meio de esferas, ou não representaram (categorias D e F).

Conforme já destacado, a estrutura da matéria é fundamental para a construção da ideia de interação entre os núcleos e as eletrosferas dos átomos participantes da ligação covalente. Essa ideia foi identificada em algumas respostas dos estudantes, como a do Et5 da categoria A: “[...] é a ligação do núcleo com a eletrosfera entre dois átomos” e a do Et3 da categoria D: “Quando eles (átomos) não doam, só compartilham. [...] um núcleo se liga a uma eletrosfera, pois eles têm cargas muito altas e contrárias”.

Entretanto, poucos estudantes expuseram noções sobre a interação eletrostática, parece que para eles a ideia do compartilhamento de elétrons é suficiente, não há a necessidade de explicar os fundamentos que justificam a atração entre os átomos. Neste sentido, De Posada (1999) alerta que é comum os estudantes desenvolverem a ideia de que a força eletrostática não é responsável pela ligação

covalente, atribuindo sua ocorrência a uma força de outra natureza ou ao compartilhamento de elétrons.

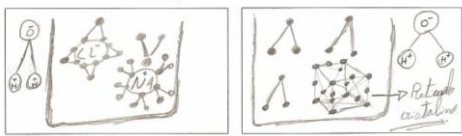
Nenhum estudante deste contexto levou em conta a diferença de eletronegatividade para a representação da densidade eletrônica. Geralmente, eles distribuíram os elétrons no meio do traço da ligação, representando um compartilhamento igualitário, semelhante ao resultado encontrado no contexto da SEA e em pesquisas anteriores (PETERSON; TREAGUST, 1989; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006).

Nesta fase da pesquisa e nos dois contextos, a noção sobre a estrutura da matéria, bem como o conceito de eletronegatividade destacaram-se como obstáculos na construção do conhecimento do tópico em questão.

- Fase intermediária

Já na fase intermediária, foram analisadas 58 representações e 87 respostas. As categorias que emergiram são apresentadas no Quadro 58.


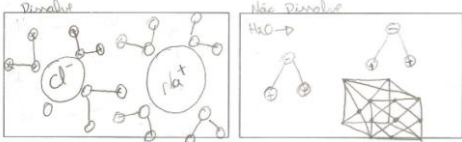
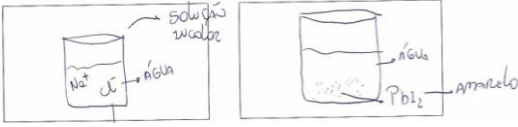
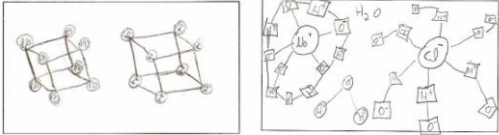

Quadro 58 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase intermediária para o contexto da SEA

		(continua)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da relação com a energia de ligação e temperatura de fusão. Realizam previsões sobre a solubilidade dos compostos, representam as interações e justificam a partir do caráter parcial da ligação.	<p>É uma ligação covalente apolar, são átomos de mesma eletronegatividade, os pares ficam igualmente compartilhados entre os dois núcleos. É uma ligação covalente polar, os átomos possuem diferentes eletronegatividades, o átomo mais eletronegativo exerce uma atração sobre os pares de elétrons, adquirindo um caráter parcialmente negativo e o outro um caráter parcialmente positivo (Es4).</p> <p>HF porque a ligação é polar [...], por isso a temperatura de fusão e a energia de ligação são mais altas (em comparação com as do H<sub>2</sub>)(Es9).</p>  <p style="text-align: center;">(Es3)</p>	04




Quadro 58 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase intermediária para o contexto da SEA

(continuação)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>B)</b> Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da diferença de eletronegatividade entre os átomos, não associam com a energia de ligação ou temperatura de fusão. Preveem sobre a solubilidade dos compostos, representam as interações e justificam a partir do caráter parcial da ligação.</p>	<p><i>Ligação covalente apolar ocorre entre átomos de mesma eletronegatividade, os pares de e- ficam igualmente compartilhados entre os dois núcleos (Es14).</i></p>  <p>(Es24).</p>	10
<p><b>C)</b> Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares, mas apresentam explicações confusas que não justificam suas escolhas. Preveem a solubilidade dos compostos e justificam pelo caráter parcial da ligação.</p>	<p><i>Essa (HF) é uma ligação covalente polar, pois a eletronegatividade do F é maior que a do H. E o átomo mais eletronegativo exerce uma atração sobre os pares de e- adquirindo uma carga parcial negativa e o outro átomo um caráter parcial positivo (Es11).</i></p> <p><i>A molécula A é o HF (resposta a questão 2 do questionário G) porque tem uma energia diferente, um é positivo e o outro é negativo (Es16).</i></p>  <p>(Es11)</p>	03
<p><b>D)</b> Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da diferença de eletronegatividade, não associam com a energia de ligação ou temperatura de fusão. Preveem a solubilidade dos compostos, porém não apresentam justificativas, apenas consideram os aspectos observáveis.</p>	<p><i>Ligação covalente apolar, mesma eletronegatividade, os e- estão distribuídos de maneira igual entre os átomos (Es27).</i></p>  <p>(Es28)</p> <p><i>O sal se dissolve na água, por isso a separação dos íons. O PbI<sub>2</sub> não se dissolve, por isso, vai pro fundo, na forma de precipitado (Es28).</i></p>	05
<p><b>E)</b> Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da relação com a energia de ligação e temperatura de fusão. Preveem a solubilidade dos compostos, porém apresentam incoerências em suas representações.</p>	 <p>(Es8) (Es17)</p>  <p>(Es21)</p>	04

Quadro 58 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase intermediária para o contexto da SEA

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
F) outros: Ideias confusas - "os átomos estão compartilhados igualmente", "muito mais difícil de romper o apolar do que o polar" ou representações incoerentes.	 <p style="text-align: center;">(Es13).</p>	03

Fonte: Autores.

Os estudantes do contexto da SEA apresentaram respostas bem elaboradas e fundamentadas nesta fase da pesquisa. Por intermédio das categorias emergidas é notória a evolução conceitual, principalmente em relação aos tópicos: eletronegatividade, polaridade das ligações e natureza da ligação covalente.

Aproximadamente 90% dos estudantes explicaram os diferentes tipos de ligação covalente com base na eletronegatividade. Nas repostas obtidas, foram estabelecidas relações entre a influência do núcleo dos átomos e o compartilhamento igual ou desigual dos elétrons. A tendência em atrair elétrons foi considerada para diferenciar a ligação covalente polar da apolar, bem como para interpretar a densidade eletrônica. Pelo raciocínio desenvolvido pelos estudantes é possível inferir que houve um avanço na compreensão da estrutura da matéria e no conceito de eletronegatividade, obstáculos detectados na fase inicial.

Apenas os estudantes das categorias A e E (27,6%) diferenciaram as substâncias polares das apolares a partir da temperatura de fusão e energia de ligação. Os estudantes das categorias B e D (51,7%) não estabeleceram relações com as propriedades dos compostos, restringindo suas respostas à eletronegatividade, e os classificados nas categorias C e F (20,7%) apresentaram explicações confusas, como pode ser observado nos exemplos do Quadro 58. Com isso, pode-se inferir que o reconhecimento da polaridade da ligação dos compostos, não significa a compreensão de suas propriedades, visto que os estudantes apresentam muitas dificuldades em vincular as propriedades físicas com as explicações submicroscópicas.

A respeito da solubilidade dos compostos, 27 estudantes (93,1%) previram que o cloreto de sódio é bastante solúvel em água, enquanto que o iodeto de chumbo é pouco solúvel. Dentre eles, 17 (58,6%) apresentaram representações e justificativas embasadas no caráter da ligação. Apesar de a solubilidade de um composto ser influenciada por vários fatores, tais como tamanho molecular ou iônico, a polaridade (ou carga), forças dispersivas e dipolares, ligações de hidrogênio e a temperatura (SILVA; MARTINS; ANDRADE, 2004), as justificativas apresentadas foram consideradas adequadas para introduzir os estudantes no estudo do fenômeno.


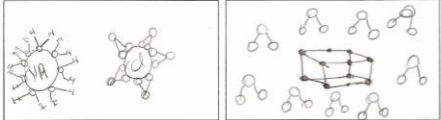
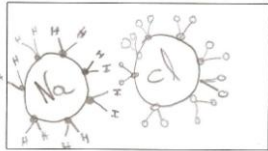

As representações expostas no Quadro 58 (categorias A, B, C) demonstram o entendimento, em nível submicroscópico, da solvatação dos íons do cloreto de sódio e a não interação do iodeto de chumbo II com a água. Presume-se que a intenção dos estudantes foi justificar a baixa solubilidade, em condições normais, do iodeto de chumbo II em água por meio do elevado grau de covalência de suas ligações, o que leva a supor que a energia de solvatação não foi suficiente para romper as interações do retículo cristalino do referido composto (LIMA; NÚÑEZ, 2012). Esse aspecto foi enfatizado em aula, após o desenvolvimento da atividade experimental (Apêndice V).

Além disso, foram identificadas justificativas pautadas apenas no nível macroscópico, como as classificadas na categoria D (17,2%). Nelas, percebe-se que os estudantes não pensaram nas interações entre soluto - solvente e foram influenciados pelos aspectos observáveis, principalmente provindos da atividade experimental desenvolvida ou de situações vivenciadas em seu cotidiano. Ainda, foram detectadas incoerências nas representações da categoria E (13,8%), que, sobretudo revelam incompreensões a respeito das interações entre os átomos ou íons.

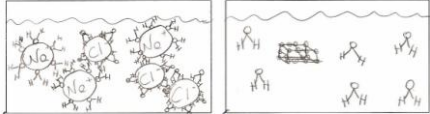
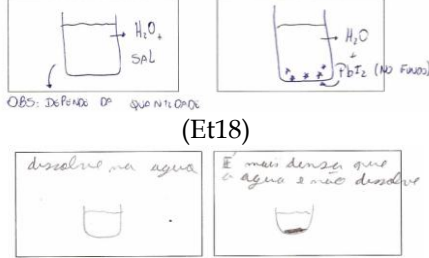
Para o contexto tradicional foram analisadas 61 respostas e 42 representações. As categorias que emergiram estão no Quadro 59.

Quadro 59 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase intermediária para o contexto tradicional

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da relação com a energia de ligação e temperatura de fusão. Realizam previsões sobre a solubilidade dos compostos, representando as interações e justificam a partir do caráter parcial da ligação.</p>	<p>Ligação covalente apolar - eletronegatividade igual, elétrons igualmente compartilhados. Ligação covalente polar - eletronegatividade diferente, forma cargas parciais opostas (positiva e negativa). O Flúor puxa mais e porque tem eletrosfera maior (Et2). A – HF (resposta a questão 2 do questionário G), porque tem diferença de eletronegatividade, é polar e por isso tem maior Ponto de Fusão e energia de ligação (Et8).</p>  <p>(Et2)</p>	03
<p>B) Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares, mas não associam com a energia de ligação ou temperatura de fusão. Preveem a solubilidade dos compostos, representam as interações e justificam a partir do caráter parcial da ligação.</p>	<p>B (referente ao exercício 2, questionário J) é H<sub>2</sub>, pois ocorreu a ligação entre átomos de mesma eletronegatividade. B é HF porque ocorreu entre átomos de diferente eletronegatividade, ou seja, F possui maior eletronegatividade e puxa mais os elétrons (Et1).</p>  <p>(Et11).</p>	02
<p>C) Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da relação com a energia de ligação e temperatura de fusão. Preveem a solubilidade dos compostos, porém apresentam incoerências em suas representações ou respostas.</p>	 <p>(Et12)</p> <p>[...] NaCl é predominantemente iônico, sendo assim pode se <u>diluir</u>. [...] parcialmente covalente e não se torna possível a <u>diluição</u>. (Et14, grifo nosso).</p>	04
<p>D) Compreendem a natureza dos tipos de ligações covalentes a partir da eletronegatividade. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares, mas apresentam explicações confusas que não justificam suas escolhas. Preveem a solubilidade dos compostos, porém apresentam incoerências em suas representações.</p>	<p>A – Ligação covalente Polar (HF), pois são elétrons negativos e positivos. Também porque o átomo é maior. B – Ligação covalente apolar (H<sub>2</sub>), porque os elétrons são iguais, e os átomos menores também (Et13).</p>  <p>(Et6)</p>	04

Quadro 59 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase intermediária para o contexto tradicional

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
E) Não associam o conceito de eletronegatividade com a natureza da ligação covalente. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio da relação com a energia de ligação e temperatura de fusão. Preveem a solubilidade dos compostos, representam as interações e justificam a partir do caráter parcial da ligação.	<p><i>São apolares, pois eles têm a mesma nuvem eletrônica e raio atômico igual. O flúor é maior que o H, consequentemente a nuvem eletrônica é maior, e o raio do F é maior.</i></p>  <p>(Et4)</p>	03
F) Não associam o conceito de eletronegatividade com a natureza da ligação covalente. Diferenciam os compostos covalentes polares dos apolares por meio de regras simplistas. Confundem as propriedades dos compostos e preveem sua solubilidade, mas representam apenas aspectos observáveis.	<p><i>Ligação covalente apolar é entre átomos iguais. Ligação covalente polar é entre átomos diferentes (Et18 e Et20).</i></p> <p><i>Ligação covalente apolar, pois está neutro. O H está com carga positiva e o F com negativa, por isso polar (Et19).</i></p>  <p>(Et18)</p> <p>(Et21)</p>	05

Fonte: Autores.

Parte dos estudantes do contexto tradicional (38,1%) não aplicou o conceito de eletronegatividade para diferenciar os tipos de ligação covalente. Ao que parece a maioria deles compreendeu a natureza eletrostática da ligação covalente, ou seja, as interações entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Porém, não diferenciou os compostos covalentes polares dos apolares pela tendência que certos átomos possuem de atrair elétrons com maior intensidade, o que favoreceria o entendimento da densidade eletrônica e consequentemente da polaridade da ligação. Dessa forma, para os estudantes das categorias E e F, a relação da eletronegatividade com a ligação covalente continua sendo um obstáculo para sua aprendizagem.

A relação das propriedades dos compostos com a polaridade da ligação foi estabelecida por 47,6% dos sujeitos (categorias A, C, E). Outros (9,5%) restringiram suas respostas à eletronegatividade ou apresentaram (19%) ideias confusas quando

foram justificar os distintos valores das temperaturas de fusão e energias de ligação dos compostos. Já os estudantes da categoria F (23,8%) confundiram as propriedades dos diferentes tipos de ligação covalente, resultado que permite concluir que não eles compreenderam a natureza dos tipos de covalência. Isso pode ser decorrência do não entendimento do conceito da eletronegatividade.

Quanto à solubilidade, 72,6% dos estudantes representaram submicroscopicamente as interações entre a água e os compostos. Entre eles, 38,1% apresentaram esquemas satisfatórios, demonstrando o entendimento do processo de solvatação no caso do cloreto de sódio e a baixa solubilidade do iodeto de chumbo II. As justificativas apresentadas foram embasadas no caráter, iônico ou covalente, das ligações. O restante (38,1%) apresentou incoerências em suas representações, como pode ser observado nos exemplos das categorias C e D, expostos no Quadro 59. A maior dificuldade dos estudantes foi na representação dos sinais (cargas parciais dos átomos ou íons) nas interações eletrostáticas.

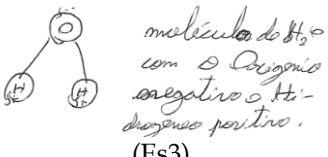
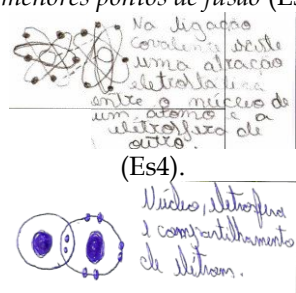

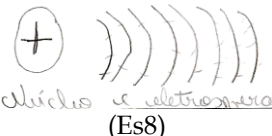
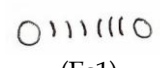
Aproximadamente 24% dos estudantes contemplaram apenas o universo macroscópico em suas representações (exemplos da categoria E). Ainda pelos registros escritos, tais como o do Et18: “[...] depende da quantidade do sal (NaCl)” ou “no segundo não importa a quantidade [...] sempre ficará no fundo, não se mistura”; percebe-se que esses alunos não consideraram as interações entre as partículas, ficaram restritos ao observável.

- Fase Final

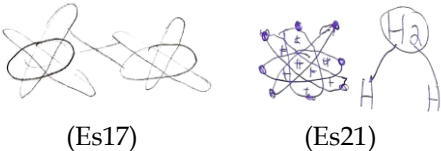
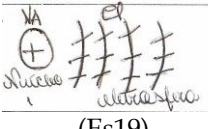
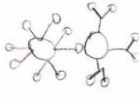
Foram avaliadas 56 respostas e 29 representações expostas pelos sujeitos do contexto da SEA nesta fase da pesquisa. No Quadro a seguir, são apresentadas as categorias que emergiram.

Quadro 60 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase final para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Representam essa interação por meio da exemplificação de moléculas, demonstrando noções de eletronegatividade e cargas parciais. Reconhecem os compostos covalentes pelo estabelecimento de relações com suas propriedades, além de diferenciarem os polares dos apolares.</p>	<p>Todos (<math>H_2</math>, <math>HF</math>, <math>CH_4</math>, <math>H_2O</math>) possuem a temperatura de fusão em uma faixa próxima, por isso, formam um grupo de compostos covalentes. O ponto de fusão deles é menor que o da iônica e metálica (Es26). A ligação covalente ocorre pela atração eletrostática entre o núcleo de um átomo e a eletrosfera de outro (Es3).</p> 	03
<p>B) A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Demonstram a compreensão da estrutura da matéria quando representam as interações entre as partes que constituem os átomos. Reconhecem os compostos covalentes pelo estabelecimento de relações com suas propriedades.</p>	<p>Os compostos covalentes são os que possuem os menores pontos de fusão (Es5).</p> 	07
<p>C) A ligação covalente é consequência do compartilhamento de elétrons, não pensam nas interações. Representam os átomos como esferas, sem considerar suas partes e partículas, e as moléculas como um agregado de átomos. Reconhecem os compostos covalentes pela aplicação de regras.</p>	<p>Os covalentes são <math>H_2</math>, <math>CH_4</math>, <math>HF</math> e <math>H_2O</math>, pois a ligação covalente ocorre entre não metal + H ou <math>H + H</math> (Es23).</p> 	05
<p>D) Afirmando que a ligação covalente ocorre entre o núcleo de um átomo e a eletrosfera de outro, porém representam um átomo e as interações entre núcleo e eletrosfera desse. Reconhecem os compostos moleculares, mas não estabelecem relações com as suas propriedades.</p>	<p>Ligação eletrostática entre núcleo e eletrosfera (Es13).</p> 	04
<p>E) A ligação covalente ocorre entre átomos, não informam como acontece a atração. Representam os átomos como esferas e as moléculas como uma união de esferas. Não reconhecem alguns compostos covalentes, alguns ainda apresentam justificativas incoerentes.</p>	<p>Os compostos <math>H_2O</math>, <math>CH_4</math> e <math>HF</math> são covalentes (Es1). Todos (<math>H_2</math>, <math>HF</math>, <math>CH_4</math>, <math>H_2O</math>), pois têm uma baixa energia de ionização (Es7).</p> 	03

Quadro 60 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase final para o contexto da SEA

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
F) A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Representam as partes de um átomo ou exemplificam moléculas. Não reconhecem os compostos covalentes.		03
G) A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Apresentam representações incoerentes e não reconhecem os compostos covalentes.		02
H) Representações ou ideias confusas, tais como: "Quando a energia de ionização é igual, ocorre uma ligação covalente".		02

Fonte: Autores.

Os estudantes compreenderam que a ligação covalente une átomos, ou seja, espécies neutras. No entanto, boa parte deles (34,5%) não explicitou em suas respostas ou representações como a atração ocorre. Considerando que o ensino proposto na SEA foi fundamentado no modelo eletrostático, a ausência de menções sobre as interações entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes compromete o entendimento da natureza da ligação covalente.

Em relação às representações, é possível observar que os estudantes da categoria A (10,3%) levaram em consideração a densidade eletrônica e apresentaram as cargas parciais dos átomos. Além disso, foram os únicos que diferenciaram os compostos covalentes polares dos apolares, apesar de o exercício não ter solicitado. Os estudantes classificados na categoria B (24,1%) representaram as partes e partículas dos átomos, destacando as interações entre elas. Nas categorias C e E (27,6%), os átomos foram representados como esferas e as moléculas como um agrupamento de átomos. Nesses casos, a estrutura da matéria não foi considerada para o estabelecimento da ligação covalente.

Nas representações das categorias G e H, os estudantes apresentaram confusões conceituais, relacionadas com as interações na ligação iônica e a solvatação



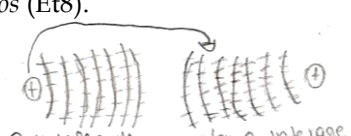
dos íons respectivamente. Na categoria D (13,8%), apesar de os estudantes afirmarem que a ligação covalente ocorre através da interação entre o núcleo de um átomo e a eletrosfera de outro, foram esquematizadas apenas as partes de um único átomo. Ao certo não se pode afirmar qual a pretensão com essa representação, talvez eles quisessem associar as interações eletrostáticas que ocorrem entre as partículas do átomo com a ligação covalente, ou, de fato não sabiam esquematizar a interação interatômica.

A respeito do agrupamento dos compostos pela semelhança de comportamento e propriedades, 65,5% dos estudantes reconheceram as substâncias moleculares: dez (34,5%) relacionaram com as propriedades físicas dos compostos, cinco (17,2%) pela aplicação de regras e quatro (13,8%) apenas fizeram a indicação sem justificar suas escolhas. Já, 34,5% não reconheceram nenhum ou pelo menos um dos quatro compostos propostos.

Para o contexto tradicional foram avaliadas 20 representações e 41 respostas na fase final. Deste processo emergiu sete categorias que são apresentadas no Quadro 61.

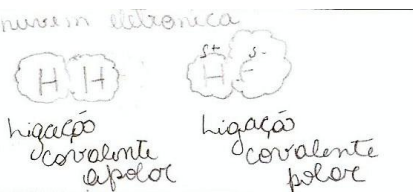

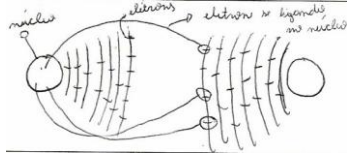
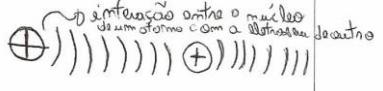
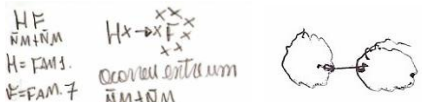
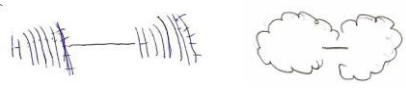
Quadro 61 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase final para o contexto tradicional

(continua)

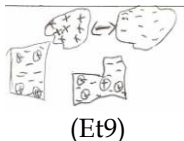
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Demonstram a compreensão da estrutura da matéria quando representam as interações entre as partes que constituem os átomos. Reconhecem os compostos covalentes pelo estabelecimento de relações com suas propriedades.</p>	<p><i>Todos (H<sub>2</sub>, HF, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O), primeiro porque o H só faz ligação covalente, além de possuírem o ponto de fusão menor em comparação com as demais (Et2). A ligação covalente ocorre pela atração que existe entre a eletrosfera e o núcleo de dois átomos (Et8).</i></p>  <p><i>O núcleo de um átomo interage com a eletrosfera do outro átomo (Et8)</i></p>	02

Quadro 61 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase final para o contexto tradicional

(continuação)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>B)</b> A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Representam essa interação por meio da exemplificação de moléculas, demonstrando noções de eletronegatividade e cargas parciais. Reconhecem os compostos covalentes, mas não estabelecem relações com suas propriedades.</p>	<p>Entre átomos (como ocorre a ligação covalente), o núcleo de um e a eletrosfera de outro (Et11).</p>  <p>(Et3).</p>	04
<p><b>C)</b> A ligação covalente é consequência do compartilhamento de elétrons, não pensam nas interações. Representam o compartilhamento de elétrons entre dois átomos, sem considerar suas partes e partículas. Reconhecem os compostos covalentes pela aplicação de regras.</p>	<p>Todos com marcados com x (<math>H_2</math>, <math>CH_4</math>, <math>HF</math> e <math>H_2O</math>), não metal compartilha com não metal (Et18).</p> <p>A ligação covalente ocorre pelo compartilhamento (Et18).</p>  <p>(Et20)</p>	02
<p><b>D)</b> A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Compreendem a estrutura da matéria e representam as interações entre as partes que constituem os átomos. Apenas reconhecem os compostos covalentes, não estabelecem relações com suas propriedades.</p>	<p>Ligação eletrostática entre núcleo e eletrosfera dos átomos (Et10).</p>  <p>(Et5)</p>	02
<p><b>E)</b> A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Compreendem a estrutura da matéria, no entanto apresentam incoerências nas interações entre as partes que constituem os átomos. Apenas reconhecem os compostos covalentes, não estabelecem relações com suas propriedades.</p>	<p>Interação eletrostática entre átomos (Et14).</p> <p>Os covalentes são: <math>H_2</math>, <math>HF</math>, <math>CH_4</math>, <math>H_2O</math> (Et12).</p>  <p>(Et12).</p>	03
<p><b>F)</b> A ligação covalente é consequência do compartilhamento de elétrons, não pensam nas interações. Representam os átomos como esferas ou o compartilhamento de elétrons entre dois átomos, sem considerar suas partes e partículas. Não reconhecem os compostos covalentes.</p>	<p>Ela (ligação covalente) acontece entre: <math>H + H</math>, não metal + não metal e não metal e <math>H</math> (Et19).</p>  <p>(Et19) (Et23)</p>	03
<p><b>G)</b> A ligação covalente é resultante da interação entre núcleos e elétrons dos átomos ligantes. Apresentam representações incoerentes e não reconhecem os compostos covalentes.</p>	<p>A ligação covalente é uma interação entre átomos (Et1).</p>  <p>(Et1) (Et7)</p>	03

Quadro 61 - Categorias da dimensão Ligação covalente na fase final para o contexto tradicional

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
H) Outros: "É como se fosse uma corda o entre elétron e próton" ou "ocorre de maneira semelhante como ocorre com a aproximação das nuvens quando está nublado".	 (Et9)	02

Fonte: Autores.

Por intermédio das categorias, detecta-se que 47,6% dos estudantes (categorias A, D, E, G) representaram a covalência por meio de interações que ocorrem entre núcleo e eletrosfera dos átomos participantes da ligação. Enquanto 52,4% a representaram por meio da densidade eletrônica (categoria B), compartilhamento (categorias C e F) ou de outras formas (categoria H).

Na fase inicial desta dimensão, apenas 28,6% dos sujeitos representaram a estrutura atômica de forma satisfatória e poucos atribuíram às interações entre as partes e partículas dos átomos a ocorrência da ligação covalente. Considerando os dados obtidos na fase final, 66,7% dos estudantes compreenderam a natureza eletrostática da ligação covalente, como pode ser observado nas respostas e representações das categorias A, B, D, E e G, apesar das duas últimas apresentarem alguns problemas conceituais. Já os estudantes das categorias C e F preocuparam-se com compartilhamento de elétrons, sem especificar a natureza da força responsável pela união entre os átomos. Na categoria H, foram enquadradas respostas e representações incoerentes ou desprovidas de sentido científico.

Em relação ao agrupamento dos compostos pela semelhança de comportamento e propriedades, 61,9% reconheceram as quatro substâncias covalentes. Dentre eles, apenas dois (9,5%) relacionaram com as propriedades físicas dos compostos, dois (9,5%) realizaram o reconhecimento pela aplicação de regras e nove (42,9%) não apresentaram justificativas. O restante (38,1%) não reconheceu nenhum ou pelo menos um dos quatro compostos moleculares.

### II.5.3.2 Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis

No Quadro 62 é exposto o resultado da classificação das categorias do contexto da SEA de acordo com as zonas filosóficas e níveis hierárquicos, conforme apresentado no Quadro 34 da seção método de análise dos dados.

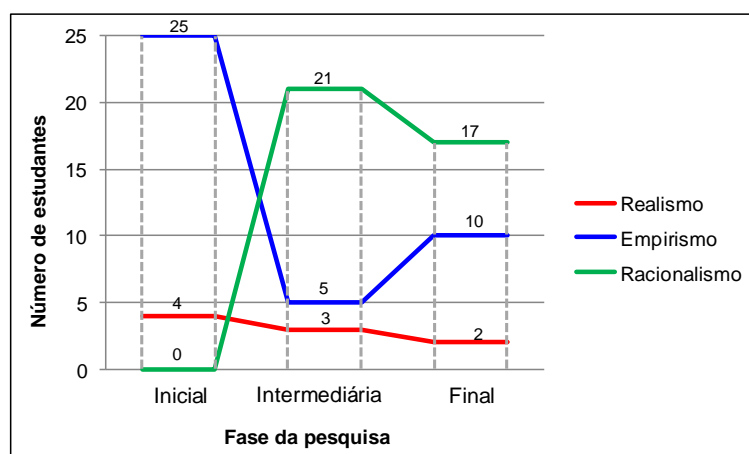
Quadro 62 - Classificação das categorias da dimensão Ligação covalente por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto da SEA

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	F	F	H
Realismo - nível II	-	-	-
Empirismo - nível I	E	-	-
Empirismo - nível II	D	-	E
Empirismo - nível III	-	-	C
Empirismo - nível IV	A, B, C	-	-
Empirismo - nível V	-	D	G
Racionalismo - nível I	-	E	D, F
Racionalismo - nível II	-	C	-
Racionalismo - nível III	-	B	B
Racionalismo - nível IV	-	A	A

Fonte: Autores.

Referente às zonas filosóficas, o resultado da avaliação da construção do conhecimento dos estudantes por fase da pesquisa é expresso na Figura 41.

Figura 41 - Concepções sobre Ligação covalente por zona e fase da pesquisa para o contexto da SEA



Fonte: Autores.

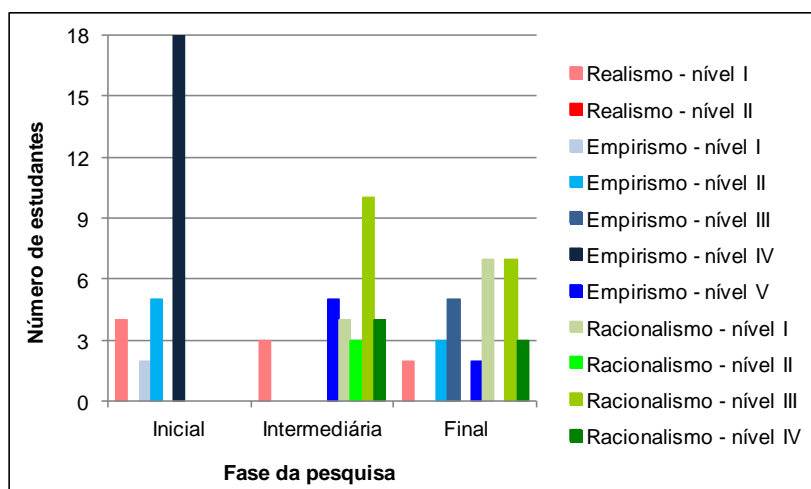
O Gráfico mostra que as ideias empiristas predominaram (86,2%) na fase inicial. Poucas concepções realistas foram detectadas nesta dimensão, apenas 17,8% das ideias são providas do senso comum. Deste modo, infere-se que as noções dos estudantes sobre a ligação covalente foram formadas a partir de observações em atividades escolares. Isso pode ser confirmado pela análise das respostas obtidas na fase inicial, visto que foram elaboradas por meio da aplicação de regras como octeto, compartilhamento ou transferência de elétrons.

Após a participação dos estudantes na SEA, é possível observar que as visões racionalistas surgiram e se tornaram a maioria (72,4%), enquanto que a frequência das outras zonas diminuiu. O avanço obtido é consequência da compreensão da estrutura da matéria e do conceito de eletronegatividade, o que possibilitou aos estudantes a percepção de como ocorre a formação da ligação covalente.

Na fase final, percebe-se um decréscimo na zona racionalista (58,6%) e que alguns estudantes retornaram à zona empirista (34,5%). Eles voltaram a apresentar ideias restritas ao compartilhamento de elétrons e muitos ainda representaram o átomo por meio de esferas, sem pensarem nas interações entre núcleo e eletrosfera. Conforme alerta Bachelard (2009), eis uma prova de como filosofias inferiores podem, em determinadas circunstâncias, constituir um obstáculo ao progresso da cultura.

Quanto aos níveis hierárquicos elaborados dentro de cada zona, o resultado obtido da avaliação das concepções dos sujeitos nas três fases da pesquisa é apresentado na Figura 42.

Figura 42 - Concepções sobre Ligação covalente por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto da SEA



Fonte: Autores.

Percebe-se que as concepções mais avançadas e frequentes (62%) na fase inicial são do tipo empirismo - nível IV. Os estudantes desta zona e nível possuem noções sobre a estrutura da matéria, porém não compreendem a eletronegatividade e a natureza da ligação covalente.

Na fase intermediária, foram encontradas ideias classificadas em todos os níveis da zona racionalista, os quais têm em comum a noção de que a ligação covalente é resultante da atração entre os núcleos e elétrons dos átomos participantes e se diferenciam pela quantidade de associações estabelecidas. Por exemplo, as categorias dos níveis III (34,5%) e IV (13,8%) apresentam, respectivamente, quatro e cinco relações a partir do entendimento da ligação covalente. Também foram detectadas concepções do tipo empirismo - nível V (17,2%). Nesse caso, são representadas ideias em transição, que apresentaram noções de diferentes zonas, tais como: compreenderam as interações da ligação covalente, mas não conseguiram representá-las, bem como consideraram apenas aspectos observáveis e relacionados aos sentidos na explicação da solubilidade dos compostos.

Já na fase final, a frequência da zona racionalista diminuiu: os níveis I e III corresponderam a 24,1% cada e o nível IV contabilizou 10,3% dos estudantes. Nesse último, a ligação covalente foi associada a forças eletrostáticas entre as partículas dos átomos, as substâncias moleculares foram reconhecidas pelas propriedades, os

compostos covalentes foram diferenciados pela polaridade da ligação com base na eletronegatividade e representados por meio de cargas parciais ou da densidade eletrônica. As categorias classificadas nas zonas empiristas níveis II (10,3%) e III (17,2%) representam concepções que não consideraram a estrutura da matéria e a natureza da ligação. Além disso, foram detectadas concepções empiristas - nível V (6,9%) e realistas (6,9%).

Houve um avanço no conhecimento dos estudantes acerca da ligação covalente, considerando as fases inicial e final. No entanto, foi obtido o maior índice de respostas racionalistas na fase intermediária.

O resultado da análise do conhecimento individual dos 29 sujeitos da SEA acerca da ligação covalente, nas três fases da pesquisa, é expresso pelo perfil epistemológico apresentado no Quadro 63.

Quadro 63 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto da SEA sobre Ligação covalente

	Es1	Es2	Es3	Es4	Es5	Es6	Es7	Es8	Es9	Es10	Es11	Es12	Es13	Es14	Es15	Es16	Es17	Es18	Es19	Es20	Es21	Es22	Es23	Es24	Es25	Es26	Es27	Es28	Es29	
F <sub>1</sub>	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Empirismo - nível III	Empirismo - nível I	Empirismo - nível IV	Realismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível IV	Realismo - nível II	Empirismo - nível IV	Realismo - nível II	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Realismo - nível II	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV
F <sub>2</sub>	Racionalismo - nível III	Realismo - nível II	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível IV	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível III	Realismo - nível II	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Realismo - nível II	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível IV	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V
F <sub>3</sub>	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível IV	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível IV	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III

Legenda:

Realismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível I
Realismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II
	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível III
	Empirismo - nível IV	Racionalismo - nível IV
	Empirismo - nível V	

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

Infere-se que as concepções de 58,6% dos sujeitos evoluíram, uma vez que ao final da pesquisa foram classificadas em zonas mais avançadas. Nesse grupo foram

encontrados perfis do tipo *realismo* → *empirismo* → *racionalismo* (Es6), *realismo* → *racionalismo* (Es9, Es12, Es17), *empirismo* → *racionalismo* (Es3, Es4, Es8, Es10, Es14, Es16, Es20, Es21, Es22, Es24, Es26). Também foi detectado o perfil *empirismo* → *realismo* → *racionalismo*, no qual os estudantes (Es5, Es13) inicialmente apresentaram os conceitos baseados em observações ou regras gerais, posteriormente regrediram para a zona realista, com concepções desprovidas de sentido científico, e ao final expuseram ideias cientificamente coerentes.

Outros (17,2%) apresentaram noções empiristas nas fases inicial e final. Os estudantes Es1 e Es15 progrediram até a zona racionalista – nível III, porém ao final da pesquisa retrocederam para a zona empirista – nível II e nível V respectivamente. Enquanto o Es2, Es7 e Es19, na fase intermediária apresentaram ideias realistas e na final retornaram para zona empirista. Identificaram-se alguns perfis (17,2%) caracterizados apenas por ideias empiristas (Es23, Es25, Es27, Es28 e Es29). Ainda detectou-se que dois estudantes (6,9%) apresentaram ideias realistas ao final da pesquisa.

Na sequência, é apresentada a classificação das categorias para o contexto tradicional nas três fases da pesquisa (Quadro 64).

Quadro 64 - Classificação das categorias da dimensão Ligação covalente por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto tradicional

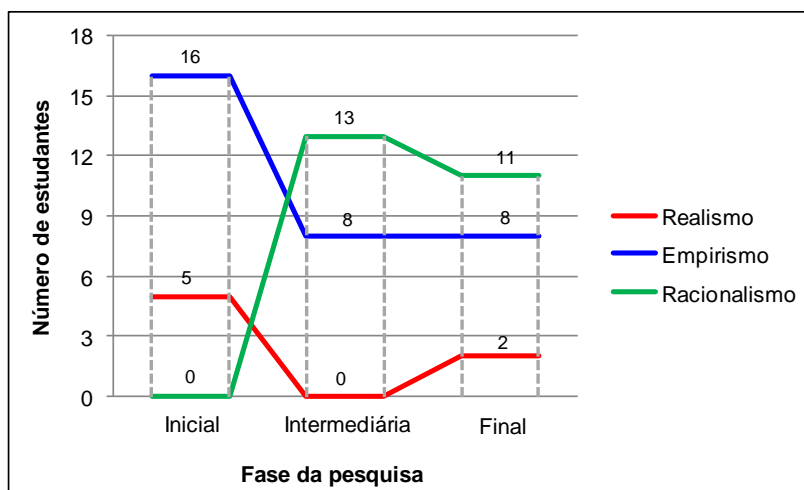
Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	F	-	-
Realismo - nível II	-	-	H
Empirismo - nível I	E	-	-
Empirismo - nível II	C, D	-	-
Empirismo - nível III	-	-	C, F
Empirismo - nível IV	A, B	-	-
Empirismo - nível V	-	E, F	G
Racionalismo - nível I	-	D	E
Racionalismo - nível II	-	C	D
Racionalismo - nível III	-	B	A, B
Racionalismo - nível IV	-	A	-

Fonte: Autores.



O resultado da análise das concepções dos estudantes do contexto tradicional em relação às zonas filosóficas, por fase da pesquisa, é exposto na Figura 43.

Figura 43 - Concepções sobre Ligação covalente por zona e fase da pesquisa para o contexto tradicional

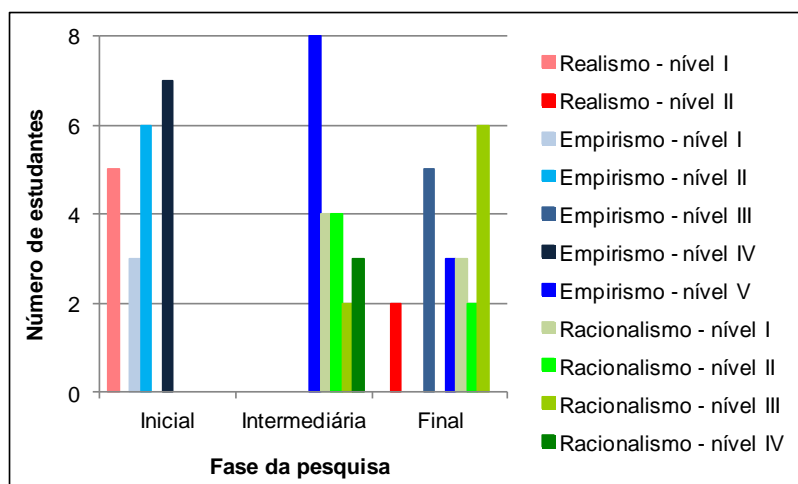


Fonte: Autores.

A avaliação do contexto tradicional confirma a forte influência do pensamento empirista na construção do conhecimento sobre ligação covalente: 76,2% na fase inicial e 38,1% nas fases intermediária e final. As concepções racionalistas surgem somente após o ensino tradicional (61,9%) e sua frequência decai para pouco mais da metade (52,4%) na última fase. Noções realistas foram identificadas em menor quantidade, apenas dois estudantes (9,5%) apresentaram ideias associadas ao senso comum ao final da pesquisa.

Considerando os níveis hierárquicos, na Figura 44 é apresentado o gráfico que expõe a análise feita para o contexto tradicional.

Figura 44 - Concepções sobre Ligação covalente por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto tradicional



Fonte: Autores.

Conforme salientado anteriormente, as concepções da zona empirista estiveram bastante presente em toda a pesquisa. As ideias mais avançadas na fase inicial são de origem empirista e do nível IV (33,3%), que corresponde a aplicações de regras gerais como o octeto e compartilhamento de elétrons, com noções sobre a estrutura da matéria. Na fase intermediária, foram encontradas concepções racionalistas - nível IV, ou seja, 14,3% dos estudantes compreenderam a natureza da ligação covalente e estabeleceram ao menos cinco relações, por exemplo, com as propriedades dos compostos e com os conceitos de polaridade, eletronegatividade, forças eletrostáticas, entre outros. No entanto, ao final da pesquisa, as ideias mais avançadas foram classificadas na zona racionalista - nível III (28,6%), o que indica o estabelecimento de um número menor de relações.

A análise individual das respostas e representações emitidas pelos 21 estudantes do contexto tradicional é apresentada no Quadro 65.

Quadro 65 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto tradicional sobre Ligação covalente

	Et1	Et2	Et3	Et4	Et5	Et6	Et7	Et8	Et9	Et10	Et11	Et12	Et13	Et14	Et15	Et16	Et17	Et18	Et19	Et20	Et21
F <sub>1</sub>	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível I	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV	Empirismo - nível IV
F <sub>2</sub>	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível IV	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V	Empirismo - nível V
F <sub>3</sub>	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível II	Realismo - nível I	Empirismo - nível V	Racionalismo - nível III	Realismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível III	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III	Empirismo - nível III

Legenda:

<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível I	<span style="color: lightblue;">■</span> Empirismo - nível I	<span style="color: lightgreen;">■</span> Racionalismo - nível I
<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível II	<span style="color: cyan;">■</span> Empirismo - nível II	<span style="color: green;">■</span> Racionalismo - nível II
	<span style="color: blue;">■</span> Empirismo - nível III	<span style="color: yellowgreen;">■</span> Racionalismo - nível III
	<span style="color: black;">■</span> Empirismo - nível IV	<span style="color: green;">■</span> Racionalismo - nível IV
	<span style="color: blue;">■</span> Empirismo - nível V	

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

O estudante Et17 foi o único que apresentou o perfil completo, passando pelas três zonas. Parte dos estudantes, em uma das fases da pesquisa, não expôs ideias realistas ou empiristas, constituindo os seguintes perfis *realismo* → *racionalismo* (14,3%) ou *empirismo* → *racionalismo* (33,3%). Tendo como parâmetro a fase inicial, o Et7 evoluiu suas concepções até a zona empirista - nível V e os estudantes Et1 e Et13, apesar de terem progredido até a zona racionalista, estagnaram na zona empirista, apenas apresentando uma evolução de nível.

Alguns estudantes (23,8%) apresentaram somente ideias empiristas durante a pesquisa, restringindo seu conhecimento a aplicação de regras gerais e a formulação de enunciados a partir de suas observações. Outros (Et6 e Et9) apresentaram ideias pautadas em aspectos realistas ao final da pesquisa.

Por fim, nota-se que um considerável número de estudantes apresentou ideias empiristas após participarem da SEA ou do ensino tradicional e que esse índice manteve-se constante ou aumentou ao final da pesquisa. Isso sinaliza que a ligação covalente é fortemente influenciada por esse tipo de concepção, bem como

que os estudantes encontraram dificuldades em romper com obstáculos originados nesta zona.

## II.5.4 Dimensão - Ligação metálica

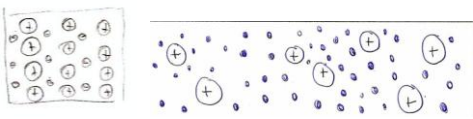
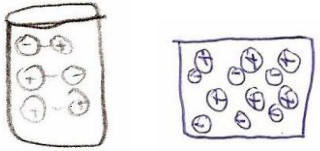
A classificação individual das respostas dos sujeitos do contexto da SEA e do contexto tradicional em categorias pode ser consultada nos Apêndices AE e AF. A seguir, são apresentadas as categorias que emergiram em cada fase da pesquisa.

### II.5.4.1 Emergência de categorias

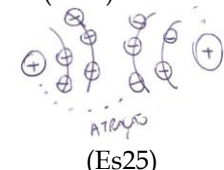
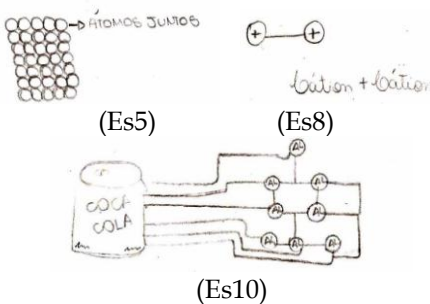
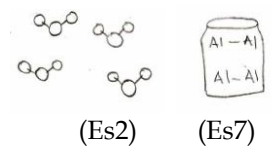
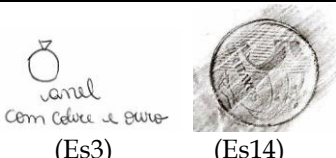
- Fase inicial

As categorias que emergiram da análise de 110 respostas e 29 representações obtidas nesta fase da pesquisa são apresentadas no Quadro a seguir.

Quadro 66 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase inicial para o contexto da SEA

		(continua)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) Apresentam representações próximas ao modelo "mar de elétrons". Conceituam a energia de ionização, preveem e justificam a formação dos cátions.	<p>É a energia que precisa ser dada a um átomo para conseguir arrancar algum elétron dele. Os metais têm valor baixo porque doam seus elétrons (Es29). Os cátions formados são <math>Na^+</math>, <math>Ca^{+2}</math>, <math>Al^{+3}</math>, <math>Fe</math> pode ser <math>+2</math> ou <math>+3</math> (Es20).</p>  <p>(Es16) (Es20)</p>	03
B) Utilizam o modelo eletrostático semelhante ao retículo cristalino da ligação iônica, representando interação entre íons. Acreditam que os metais podem formar cátions e ânions, mas não preveem essas espécies.	 <p>(Es9) (Es22)</p>	02

Quadro 66 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase inicial para o contexto da SEA

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
C) Representam a estrutura atômica e as interações entre núcleo e elétrons, modelo semelhante ao utilizado na ligação covalente. Compreendem a energia de ionização e preveem os íons formados.	<p>Valores baixos (refere-se à energia de ionização), pois está relacionado ao fato de "arrancar" elétrons, e os metais não precisam disso (Es23).</p>  <p>(Es25)</p>	03
D) Representam um aglomerado de esferas que podem ser átomos ou íons, semelhante ao modelo de rede, porém não informam sobre a natureza das interações responsáveis pela união. Indicam que os metais formam cátions, mas não preveem os íons.	 <p>(Es5) (Es8)</p> <p>(Es10)</p>	15
E) Representam os átomos de alumínio unidos como se fossem moléculas. Acreditam que os metais podem formar cátions ou ânions e que possuem alto valor da energia de ionização.	 <p>(Es2) (Es7)</p>	03
F) Apresentam concepções ingênuas como "a ligação metálica é formada por metais" e representam objetos metálicos, sem pensar no arranjo dos átomos em nível submicroscópico.	 <p>(Es3) (Es14)</p>	03

Fonte: Autores.

Todos os estudantes citaram pelo menos duas propriedades dos metais, as mais lembradas foram: sólidos (alguns mencionaram o metal líquido - mercúrio), resistentes, firmes, altas temperaturas de fusão e ebulição, bons condutores de eletricidade e calor, apresentam brilho e cor, entre outras. Alguns citaram a ferrugem como uma propriedade comum a todos os metais, pensamento que constitui um obstáculo epistemológico (BACHELARD, 2009). Em vez de pensarem na ferrugem como um processo químico, no qual os átomos de ferro se oxidam, eles generalizaram e a consideraram como uma propriedade intrínseca dos metais. A maioria das propriedades elencadas provém de experiências cotidianas dos

estudantes e algumas derivam do conhecimento escolar, geralmente desenvolvido dentro do tópico de tabela periódica, conteúdo prévio ao de ligações químicas.

As categorias expostas no Quadro 66 revelam que a maioria dos sujeitos não interpretou a ligação entre metais por meio do modelo mar de elétrons, exceto as representações da categoria A (10,3%), as quais passam a ideia da interação eletrostática entre cátions e elétrons livres. As demais apresentam confusões com outros modelos de ligações químicas (categorias B, C, E), não expõem as interações eletrostáticas (categoria D) ou consideram apenas aspectos observáveis (categoria F).

Em relação à categoria B, percebe-se que os estudantes (6,9%) confundiram o modelo 'de rede' da ligação iônica com o da metálica, o que ficou mais evidente quando afirmaram que os metais podiam formar cátions e ânions. Acredita-se que outro fator que pode ter influenciado a confusão é o fato de ambos os tipos de compostos serem sólidos e possuírem elevados pontos de fusão (ACAR; TARHAN, 2008). Nesse sentido, alerta-se aos professores sobre a importância de utilizarem em sala de aula, atividades e/ou exercícios que propiciem aos estudantes a interpretação das diferenças entre os compostos iônicos e metálicos através dos modelos curriculares. Desta forma, fica como sugestão as atividades desenvolvidas no eixo 4 da SEA.

Aproximadamente 21% dos alunos interpretaram os compostos metálicos como se fossem moleculares. De acordo com Coll e Taylor (2001), para muitos estudantes as cargas positivas nos metais são núcleos de átomos e não íons, semelhante ao observado nas representações da categoria C. Ou ainda, como ressaltam Coll e Treagust (2003b) um átomo alumínio se liga a outro átomo alumínio através do compartilhamento de elétrons obedecendo à regra do octeto, conforme exposto nas explicações categoria E.

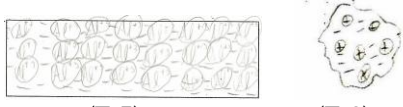
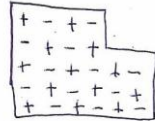
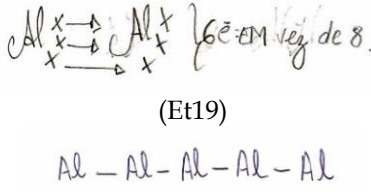
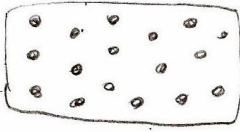

Pelas representações da categoria D (51,7%) observa-se que vários átomos ou íons foram esquematizados, o que permite concluir que os estudantes pensaram que nos compostos metálicos ocorre mais de uma interação. Entretanto, não foi possível identificar o tipo de força responsável por elas. O alto índice de estudantes nessa categoria corrobora com os resultados obtidos na primeira parte desta pesquisa, quando apenas quatro estudantes de um universo de 124, demonstraram

compreender a natureza eletrostática da ligação metálica. Com isso, infere-se que esse tópico constitui um obstáculo para a aprendizagem da ligação metálica. Por fim, na categoria F (10,3%) estão classificadas explicações genéricas como “a ligação metálica une metal e metal”, além de representações que não contemplam aspectos submicroscópicos.


As categorias, que emergiram do processo de análise de 75 respostas e 19 representações, do contexto tradicional são apresentadas no Quadro 67.

Quadro 67 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase inicial para o contexto tradicional

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) Apresentam representações próximas ao modelo "mar de elétrons". Preveem a formação dos cátions.	 <p style="text-align: center;">(Et5)                      (Et9)</p>	05
B) Utilizam o modelo eletrostático semelhante ao retículo cristalino da ligação iônica, representando interação entre íons. Afirmam que os metais formam cátions, alguns relacionam com sua baixa energia de ionização.	 <p style="text-align: center;">(Et14)</p>	03
C) Representam os átomos de alumínio unidos pelo compartilhamento ou transferência de elétrons. Os metais formam cátions e possuem alto valor da energia de ionização.	<p><i>Todos cátions, por exemplo Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> (Et20).</i></p>  <p style="text-align: center;">(Et19)</p> <p style="text-align: center;">Al - Al - Al - Al - Al (Et20)</p>	03
D) Representam um aglomerado de esferas que podem ser átomos ou íons, semelhante ao modelo de rede, porém não informam sobre a natureza das interações responsáveis pela união. Indicam que os metais formam cátions, mas não preveem os íons.	 <p style="text-align: center;">(Et12)</p>	02
E) Representam apenas um átomo de Al, passando a ideia de que não ocorrem interações entre vários átomos. Acreditam que os metais podem formar cátions e ânions, mas não preveem essas espécies.	<p><i>Na ligação metálica existe um átomo alumínio apenas (Et13). [...] é representada por um átomo (Et21).</i></p>  <p style="text-align: center;">(Et13)</p>	03

Quadro 67 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase inicial para o contexto tradicional

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
F) Apresentam concepções ingênuas como "a ligação metálica é formada por metais" e representam objetos metálicos, sem pensar no arranjo dos átomos em nível submicroscópico.	 <p>(Et3)</p>	03
G) Citaram apenas propriedades macroscópicas dos metais, não representaram ou explicaram como ocorre a ligação.		02

Fonte: Autores.

Assim como os estudantes que participaram da SEA, os sujeitos do contexto tradicional citaram pelo menos duas propriedades dos metais. De maneira geral, as características observáveis (sólidos, brilho e resistentes) foram mais lembradas.

As representações classificadas na categoria A (23,8%) ilustram interações eletrostáticas entre os cátions formados a partir dos metais e os elétrons livres, modelo semelhante ao mar de elétrons. Além disso, percebeu-se que apesar de os estudantes compreenderem que os metais formam cátions, eles não souberam justificar esse comportamento com base nas propriedades periódicas. Alguns atribuíram aos metais um alto valor de energia de ionização e outros não estabeleceram relações.

As categorias B e C, que contabilizam as respostas e representações de 28,6% dos estudantes, corroboram com os resultados de outras pesquisas apresentados no trabalho de Fernandes e Campos (2012). A revisão de literatura, feita pelos autores mencionados, alerta para o fato da confusão entre os diferentes modelos de ligações interatômicas que ocorre no ensino médio, sendo que alguns alunos chegam a não considerar a ligação metálica como um tipo de ligação química. Talvez por isso, eles a representam a partir dos modelos das ligações iônica e covalente.

Também foi identificado que alguns estudantes (9,5%) pensaram no composto metálico como um aglomerado de átomos ou íons (categoria D), porém não indicaram a natureza da força que os mantém unidos. Na categoria E (14,3%) foi



identificada a concepção de que apenas um átomo constitui um composto metálico, o que ficou evidenciado pelos trechos e representações expostos no Quadro 67.




A categoria F (14,3%) retrata ideias baseadas no senso comum e que desconsideram aspectos submicroscópicos. Já na categoria G (9,5%), foram enquadrados os estudantes que não responderam a maioria das questões.

- Fase intermediária

No Quadro 68, são apresentadas as categorias que agrupam as 29 representações e 115 respostas obtidas na fase intermediária para o contexto da SEA.

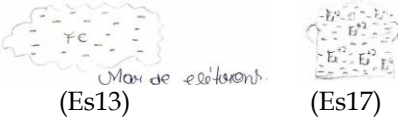
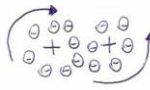
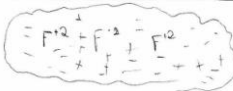
Quadro 68 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase intermediária para o contexto da SEA

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>A)</b> Representam o modelo mar de elétron, sem especificar o cátion. Compreendem que a força eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons na ligação metálica. Utilizam esse modelo para explicar as propriedades dos metais, como alta temperatura de fusão, bons condutores de eletricidade e resistentes a quebra.</p>	<p><i>A atração eletrostática que mantém os cátions e elétrons unidos.</i>  <i>Porque os metais tem um alto de ponto de fusão devido ao mar de e- e suas várias ligações entre cátions e elétrons (Es3).</i></p>  <p>(Es3) (Es4)</p>	05
<p><b>B)</b> Representam o modelo mar de elétrons e especificam cátion, apresentando símbolo e carga. Compreendem que a força eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons na ligação metálica. Explicam uma ou duas propriedades dos metais embasados nesse modelo.</p>	<p><i>O vaso é de prata, por isso não teve o rompimento da ligação, só movimentação dos elétrons. Se o vaso fosse de cerâmica, ele iria quebrar, porque com o impacto os íons positivos, por exemplo, ficariam face a face e com isso haveria a repulsão, assim rompe a ligação (Es6).</i></p>  <p>(Es18)</p>	04
<p><b>C)</b> Representam o modelo mar de elétron, sem especificam o cátion. Compreendem que a força eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons na ligação metálica. Explicam uma ou duas propriedades dos metais embasados nesse modelo.</p>	<p><i>Pela baixa energia de ionização, os elétrons são livres e os metais são bons condutores de eletricidade (Es12).</i></p>  <p>(Es5)</p>	09

Quadro 68 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase intermediária para o contexto da SEA

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>D) Representam um modelo semelhante ao mar de elétrons, alguns especificam o cátion enquanto outros apresentam o átomo rodeado de cargas negativas. Compreendem que a interação eletrostática é responsável pela ligação metálica. Durante a explicação das propriedades dos metais, não utilizam o modelo mar de elétrons ou apresentam erros conceituais.</p>	<p><i>Na interação os cátions e os elétrons estão livres (justificativa para a condutividade elétrica) no mar de elétrons (Es17).</i>  <i>Os metais são bons condutores de elétrons, pois a ligação é metálica (Es13).</i></p> 	05
<p>E) Representam o modelo mar de elétrons, sem especificar o cátion. Não relacionam as forças eletrostáticas com a ligação metálica, bem como não explicam as propriedades dos metais, apenas citam características que observaram.</p>	<p><i>A força responsável por manter os átomos juntos vem da ligação metálica (Es1).</i>  <i>O vaso que amassou é o de prata, metal amassa (Es27).</i></p> 	04
<p>F) Representações e respostas confusas</p>	<p><i>Porque o mar de elétrons está livre (Es15).</i></p> 	02

Fonte: Autores.

Os dados desta fase da pesquisa foram coletados na última aula do eixo 4, referente à ligação metálica, o que corresponde ao término da SEA. Isso indica que os estudantes, quando responderam ao questionário I (Apêndice AC), já tinham finalizado o estudo de ligações químicas em sala de aula.

Em relação à natureza da ligação metálica, detectou-se um avanço no conhecimento dos estudantes nesta fase da pesquisa. Aproximadamente 80% deles atribuíram à interação eletrostática a responsabilidade de manter os metais unidos.

O modelo mar de elétrons foi utilizado como fundamento teórico para a explicação da ligação metálica, sendo representado de diversas maneiras. Alguns estudantes especificaram o cátion formado e outros apenas indicaram sua carga. Ainda, foram detectadas representações com incoerências, por exemplo, com átomos no lugar dos cátions (categoria E) ou com sinais positivos juntamente com os elétrons livres (categoria F).

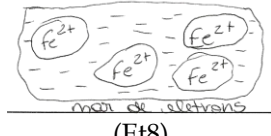
Apenas os estudantes da categoria A (17,2%) utilizaram o modelo mar de elétrons para explicar o motivo dos metais possuírem alta temperatura de fusão, serem bons condutores de eletricidade e resistentes a quebra. Os estudantes das categorias B e C (44,8%) explicaram duas ou somente uma das propriedades citadas por meio do modelo mar de elétrons, enquanto que os das categorias D, E e F (37,9%) não emitiram explicações fundamentadas em tal modelo.

Os resultados obtidos corroboram com a visão apresentada por Carvalho e Justi (2005b), de que os estudantes apresentam dificuldades em entender as propriedades e o comportamento dos materiais por meio do modelo mar de elétrons. As autoras detectaram que, em um universo de 102 estudantes, 29% utilizaram o modelo mar de elétrons para explicar a condução de corrente elétrica pelos metais e apenas 10% associaram esse modelo a elétrons em movimento entre os cátions. Para que se superem essas dificuldades, as autoras defendem que os professores promovam uma discussão de assuntos prévios para o entendimento do modelo (natureza elétrica das entidades), das limitações da analogia, bem como de seu papel na compreensão da teoria científica.

No contexto tradicional foram analisadas 21 representações e 84 respostas. As categorias que emergiram são apresentadas no Quadro 69.

Quadro 69 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase intermediária para o contexto tradicional

(continua)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>A) Representam o modelo mar de elétron e especificam o cátion, apresentando símbolo e carga. Compreendem que a força eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons na ligação metálica. Utilizam esse modelo para explicar as propriedades dos metais, como alta temperatura de fusão, bons condutores de eletricidade e resistentes a quebra.</p>	<p><i>Os elétrons do mar de e- são livres para conduzir eletricidade (Et4).</i>  <i>De prata (refere-se ao vaso), pois com o impacto da queda o vaso apenas amassou, ou seja, ocorreu movimentação entre os cátions e elétrons (Et2).</i></p>  <p style="text-align: center;">(Et8)</p>	04

Quadro 69 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase intermediária para o contexto tradicional

		(conclusão)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>B)</b> Representam o modelo mar de elétrons e especificam cátion, apresentando símbolo e carga. Compreendem que a força eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons na ligação metálica. Explicam uma ou duas propriedades dos metais embasados nesse modelo.</p>	<p>Porque a panela é de ferro que possui um alto PF (ponto de fusão), por causa das interações eletrostáticas entre cátions e elétrons (Et11).</p> <p style="text-align: center;">(Et7)</p>	05
<p><b>C)</b> Representam o modelo mar de elétrons, sem especificar o cátion. Compreendem que a força eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons. Explicam uma ou duas propriedades embasados nesse modelo.</p>	<p>Porque o ferro tem um alto ponto de fusão e faz uma ligação forte. Eles são bons condutores de eletricidade, porque os metais estão praticamente muito envolvidos na eletricidade, as interações deles são boas (Et3).</p> <p style="text-align: center;">(Et3)</p>	05
<p><b>D)</b> Representam um modelo semelhante ao mar de elétrons, porém com incoerências. Compreendem que a interação eletrostática é responsável pela união dos cátions e elétrons. Durante a explicação das propriedades dos metais, utilizam pouco o modelo "mar de elétrons" e apresentam erros conceituais.</p>	<p>Os átomos estão livres (justificativa para a condutividade elétrica) (Et9). Era prata (refere-se ao vaso), por isso amassou, se fosse cerâmica iria se quebrar quase que totalmente e não somente amassar (Et19).</p> <p style="text-align: center;">(Et13)                      (Et19)</p>	05
<p><b>E)</b> Representam apenas um átomo de ferro, passando a ideia de que não ocorre mais de uma interação. Não relacionam a ligação metálica com forças eletrostáticas e interpretam as propriedades dos metais com base no perceptível.</p>	<p>Porque eles (metais) são sólidos, como os fios de Cobre (explicação para a condutividade elétrica dos metais) (Et21). O vaso de prata amassou, pois é metal e metal amassa, assim como os carros que colidem (Et14).</p> <p style="text-align: center;">(Et21)</p>	02

Fonte: Autores.

Os estudantes do contexto tradicional responderam ao questionário I na última aula correspondente ao conteúdo de ligação metálica. Neste momento, os estudantes já tinham estudado formalmente o conteúdo de ligações químicas.

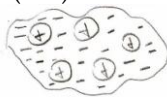

Pelas categorias emergidas infere-se que a natureza eletrostática da ligação metálica foi compreendida por muitos estudantes (90,5%). O modelo mar de elétrons foi representado de diversas maneiras, sendo detectadas incoerências nas representações da categoria D (23,8%), conforme exemplificado no Quadro anterior.

Além disso, percebe-se que a explicação das propriedades dos metais por meio do modelo mar de elétrons foi contemplada apenas pelos estudantes da categoria A (19%) e parcialmente pelos das categorias B e C (47,6%). Enquanto que os estudantes da categoria D explicaram sem fazer alusão ao modelo mar de elétrons ou com erros conceituais, e os da categoria E levaram em consideração apenas fatos macroscópicos e o senso comum.

- Fase Final




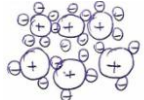

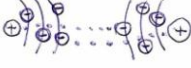
O questionário J foi aplicado após a participação dos estudantes na SEA. Para a dimensão Ligação metálica foram analisadas 56 representações e 113 respostas emitidas pelos 29 sujeitos deste contexto. As categorias elaboradas são apresentadas no Quadro 70.

Quadro 70 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase final para o contexto da SEA

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>A)</b> A ligação metálica é resultante de atrações eletrostáticas entre cátions e elétrons, ambos provenientes dos metais. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons e as identificam estabelecendo relações com suas propriedades.</p>	<p><i>É a atração eletrostática entre os cátions e elétrons que mantém os metais unidos (Es26).</i>  <i>Fe e Al são as substâncias metálicas, é possível agrupa-las pelo PF (ponto de fusão) de cada (Es5).</i></p>  <p>(Es6)</p>	06
<p><b>B)</b> A ligação metálica é resultante de atrações eletrostáticas entre cátions e elétrons, ambos provenientes dos metais. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons e as identificam, mas não relacionam com suas propriedades.</p>	<p><i>É a atração eletrostática entre cátions e e.</i></p>  <p>(Es22) Mar de e.</p>	05

Quadro 70 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase final para o contexto da SEA

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p>C) A ligação metálica é resultante de forças eletrostáticas que unem cátions e elétrons. Representam as substâncias metálicas por meio do modelo mar de elétrons, as reconhecem relacionando com suas propriedades, porém não empregam adequadamente alguns conceitos científicos.</p>	<p>Toda a substância metálica é condutora de eletricidade, como os átomos estão livres há um transporte de corrente elétrica (Es13).</p>  <p>(Es10)</p> <p>*confundiu o símbolo do ferro.</p>	03
<p>D) A ligação metálica é resultante de forças eletrostáticas que unem cátions e elétrons. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons, mas não as reconhecem.</p>	<p>A ligação metálica é a interação eletrostática entre cátions e elétrons (Es9).</p>  <p>(Es15)</p>	06
<p>E) Não mencionam o tipo de força responsável por manter os cátions e elétrons unidos na ligação metálica. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons e as identificam, alguns pela aplicação de regras, mas não relacionam com suas propriedades.</p>	<p>A ligação metálica ocorre entre cátions (Es8). Fe e Al são metálicos → metal + metal (Es27).</p> <p>Al. F.M. 23</p>  <p>(Es28)</p>  <p>(Es29)</p>	04
<p>F) Não mencionam a natureza da ligação metálica. Apresentam incoerências ou não representam as substâncias metálicas, não as reconhecem em meio a substâncias de outros tipos de ligação química.</p>	 <p>(Es18)</p>  <p>(Es23)</p>	05

Fonte: Autores.

O modelo mar de elétrons foi utilizado por 82,8% dos estudantes para representar as substâncias metálicas, na fase inicial esse número correspondeu a 10,3%. Esses dados sinalizam um progresso no conhecimento dos estudantes, pois a compreensão desse modelo proporciona o entendimento em nível submicroscópico das propriedades dos metais.

Segundo Melo (2002), pela existência de elétrons se movendo livremente, conforme descrito pelo modelo mar de elétrons, é possível justificar a condutibilidade elétrica e térmica dos metais, além das propriedades: maleabilidade, dureza e brilho. A percepção da não direcionalidade das ligações formadas entre os cátions e elétrons proporciona a compreensão de que o metal, quando submetido a um esforço mecânico, acomoda seus elétrons em novas posições. Isso embasa

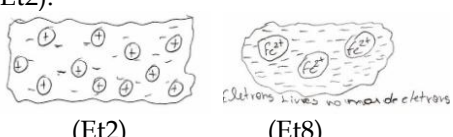
comportamentos dos objetos metálicos observados no cotidiano, como a tendência de amassarem quando submetidos a uma força externa, situação abordada durante a SEA.

Quanto à natureza da ligação metálica, dos 82,8% que representaram o modelo mar de elétrons, 13,8% não mencionaram a força que mantém os cátions e elétrons unidos em uma substância metálica (categoria E). 17,2% dos estudantes, categoria F, apresentaram incoerências em suas representações ou confundiram com modelos utilizados para outras ligações, conforme ilustrações do Quadro 70, além de não citarem o tipo de força responsável pela ligação metálica. Com isso, detectou-se que 31% dos sujeitos da SEA não compreenderam a natureza da ligação metálica ao final da pesquisa.

A respeito do agrupamento dos compostos pela semelhança de comportamento e propriedades, 62% dos estudantes reconheceram as substâncias metálicas, enquanto que 38% não reconheceram pelo menos uma delas ou confundiram classificando uma substância de outro tipo de ligação como metálica. Apenas metade dos estudantes que identificaram as substâncias metálicas (31%) estabeleceram relações com suas propriedades físicas, a outra metade reconheceu pela aplicação de regras gerais.

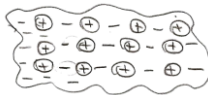

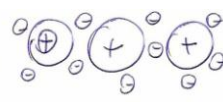
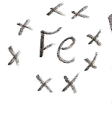
Por fim, para o contexto tradicional, foram avaliadas 37 representações e 76 respostas, que resultaram nas categorias expostas no Quadro 71.

Quadro 71 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase final para o contexto tradicional

		(continua)
Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
A) A ligação metálica é resultante de atrações eletrostáticas entre cátions e elétrons, ambos provenientes dos metais. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons e as identificam estabelecendo relações com suas propriedades.	<p><i>Pela comparação do tipo de estrutura química e pelo ponto de fusão elevado, as substâncias metálicas são o Fe(s) e o Al(s)</i> (Et2).</p>  <p style="text-align: center;">(Et2)                      (Et8)</p>	03

Quadro 71 - Categorias da dimensão Ligação metálica na fase final para o contexto tradicional

(conclusão)

Categoria	Trechos das respostas	Número de sujeitos
<p><b>B)</b> A ligação metálica é resultante de atrações eletrostáticas entre cátions e elétrons, ambos provenientes dos metais. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons e as identificam, mas não relacionam com suas propriedades.</p>	<p>A interação eletrostática entre cátions e elétrons consegue manter os metais unidos [...] (Et17).</p>  <p>(Et7)</p>	08
<p><b>C)</b> A ligação metálica é resultante de forças eletrostáticas que unem cátions e elétrons. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons, mas não as reconhecem.</p>	<p>mar de elétrons</p>  <p>(Et3)</p>	04
<p><b>D)</b> Não mencionam o tipo de força responsável por manter os cátions e elétrons unidos na ligação metálica. Representam as substâncias metálicas pelo modelo mar de elétrons e as identificam, mas não relacionam com suas propriedades, alguns reconhecem pela aplicação de regras.</p>	<p>Fe - Fe - Fe   </p> <p>(Et20)</p>	04
<p><b>E)</b> Não mencionam a natureza da ligação metálica. Apresentam incoerências ou não representam as substâncias metálicas, não as reconhecem em meio a substâncias de outros tipos de ligação química.</p>	<p>Fe=M Fe=FM=8</p> <p> Já está um muito estável de com 8e<sup>-</sup></p> <p>(Et19)</p>	02

Fonte: Autores.

Por meio das categorias emergidas, percebe-se que 90,5% dos estudantes representaram as substâncias metálicas por meio do modelo mar de elétrons. Considerou-se esse resultado satisfatório, uma vez que na fase inicial este índice foi de 23,8% e, conforme já ressaltado, esse modelo proporciona uma interpretação científica adequada das propriedades dos metais e dos fatos cotidianos.

Apesar de os estudantes da categoria D (19%) terem utilizado o modelo mar de elétrons, não foram identificados indícios a respeito da força responsável por manter os cátions e elétrons coesos na estrutura metálica. Por sua vez, os estudantes da categoria F (9,5%) não representaram as substâncias metálicas por meio do mar de elétrons e apresentaram ideias atreladas à regra do octeto. Desta forma, ao final desta dimensão foi detectado que 28,5% não desenvolveram ideias coerentes no que se refere à natureza da ligação metálica.



71% dos alunos reconheceram as substâncias metálicas, mas apenas 14,3% estabeleceram relações com suas propriedades. Já 29% não reconheceram pelo menos uma das substâncias ou confundiram com alguns dos compostos iônicos, o que pode ser consequência das altas temperaturas de fusão características das substâncias destes tipos de ligações químicas.

#### II.5.4.2 Classificação das categorias em zonas filosóficas e níveis

O Quadro 72 expõe o resultado da classificação das categorias que emergiram na dimensão Ligação metálica para no contexto da SEA, obtida segundo as orientações apresentadas na seção método de análise dos dados (Quadro 35).

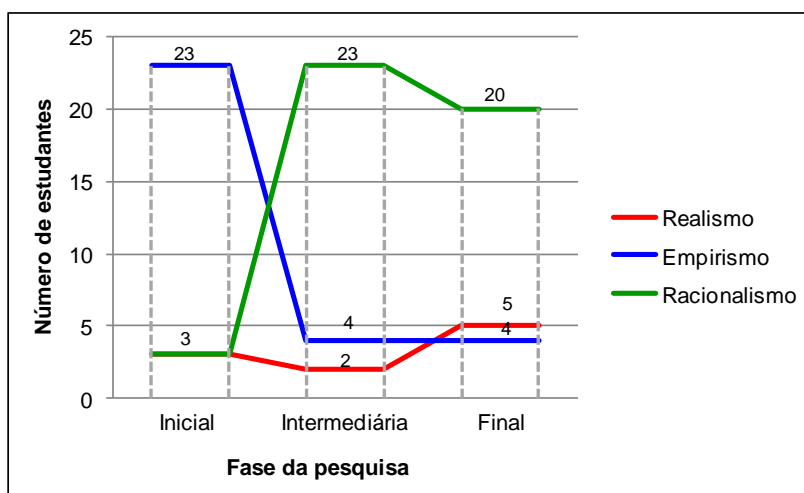
Quadro 72 - Classificação das categorias da dimensão Ligação metálica por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto da SEA

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	-	F	F
Realismo - nível II	F	-	-
Empirismo - nível I	D	-	-
Empirismo - nível II	B, C, E	E	E
Racionalismo - nível I	-	C, D,	B, C, D
Racionalismo - nível II	A	A, B	A

Fonte: Autores.

Quando avaliadas em relação às zonas filosóficas, as concepções dos sujeitos da SEA a respeito da ligação metálica progrediram conforme o gráfico apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Concepções sobre Ligação metálica por zona e fase da pesquisa para o contexto da SEA



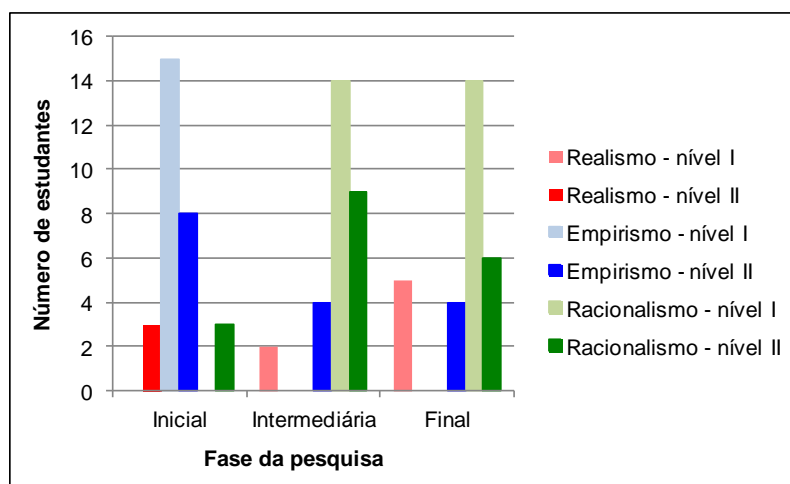
Fonte: Autores.

As ideias empiristas predominaram na fase inicial, contabilizando 79,3% dos estudantes. Isso se deve principalmente à confusão entre os modelos dos diferentes tipos de ligações químicas e falta de fundamentação sobre as forças responsáveis por manter os metais unidos. Nesta fase da pesquisa, os estudantes preocuparam-se em aplicar regras e guiaram-se pela observação, sem elaborarem um pensamento capaz de explicar a natureza da ligação, bem como as propriedades das substâncias metálicas.

A partir da fase intermediária observa-se uma mudança da zona predominante, na qual as ideias racionalistas tornaram-se a maioria. Os estudantes passaram a utilizar o modelo mar de elétrons para representar a estrutura química das substâncias metálicas e atribuíram à força eletrostática a responsabilidade pela união dos cátions e elétrons nesse modelo. Ao final da pesquisa foi observada uma ligeira queda no índice das concepções racionalistas, que passaram de 79,3% para 68,9%.

A Figura 46 apresenta o gráfico que expõe o resultado obtido quanto aos níveis hierárquicos elaborados em cada zona.

Figura 46 - Concepções sobre Ligação metálica por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto da SEA



Fonte: Autores.

Mais da metade dos estudantes (51,7%) apresentaram respostas e representações que foram classificadas na zona empirista - nível I. Essas ideias remetem ao entendimento da estrutura metálica como um aglomerado de átomos ou íons, sem menção a natureza da ligação. Na fase seguinte, 48,2% das explicações foram do tipo racionalista - nível I, ou seja, os estudantes consideraram as interações eletrostáticas durante a representação do modelo mar de elétrons e 31% além de apresentarem esse pensamento, estabeleceram relações com outros conceitos científicos ou com as propriedades das substâncias, sendo classificados na zona racionalismo - nível II. O índice referente à zona racionalista - nível I manteve-se o mesmo na fase final, sendo que as concepções do nível II diminuíram para 20,7%.

Nesta dimensão, em todas as fases da pesquisa, foram detectadas concepções realistas. Conforme apontam Pozo e Crespo (2009), os estudantes costumam interpretar os fenômenos com base no realismo ingênuo, no qual as coisas são de certa forma porque são assim. Neste contexto, destacam-se comentários como “a ligação metálica une metal e metal” (Es14) ou representações de objetos metálicos, que foram bastante frequentes durante a pesquisa.

O acompanhamento individual das ideias dos 29 estudantes do contexto da SEA para a dimensão Ligação metálica é apresentado no Quadro 73.

Quadro 73 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto da SEA sobre Ligação metálica

	Es1	Es2	Es3	Es4	Es5	Es6	Es7	Es8	Es9	Es10	Es11	Es12	Es13	Es14	Es15	Es16	Es17	Es18	Es19	Es20	Es21	Es22	Es23	Es24	Es25	Es26	Es27	Es28	Es29
F <sub>1</sub>	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível II
F <sub>2</sub>	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I
F <sub>3</sub>	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Empirismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Realismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível I	Racionalismo - nível II	Empirismo - nível I	Empirismo - nível II	Empirismo - nível II

Legenda:

<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível I	<span style="color: lightblue;">■</span> Empirismo - nível I	<span style="color: lightgreen;">■</span> Racionalismo - nível I
<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível II	<span style="color: blue;">■</span> Empirismo - nível II	<span style="color: green;">■</span> Racionalismo - nível II

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

Os estudantes Es3, Es13 e Es14 apresentaram o perfil *realismo* → *racionalismo*, não expondo ideias empiristas ao longo da pesquisa. Mais da metade dos estudantes (51,7%) partiu de concepções empiristas e evoluíram até a zona racionalista na fase final.

Alguns estudantes (17,2%) apresentaram perfis somente empiristas (Es27), racionalistas (Es16 e Es20) ou a mesma zona nas fases inicial e final (Es8 e Es28). Também foram detectados perfis que sinalizam retrocessos no conhecimento dos estudantes (20,7%), tais como: *racionalismo* → *empirismo* (Es29), *empirismo* → *realismo* (Es21, Es23, Es25) e *empirismo* → *racionalismo* → *realismo* (Es11, Es18).

A classificação das categorias do contexto tradicional em zonas e níveis hierárquicos é apresentada no Quadro 74.

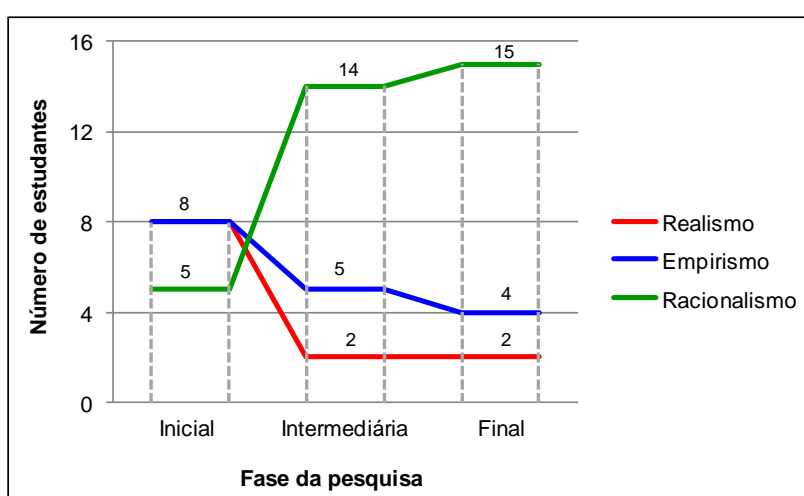
Quadro 74 - Classificação das categorias da dimensão Ligação metálica por zona e nível nas três fases da pesquisa para o contexto tradicional

Zona e nível	Categorias		
	Inicial	Intermediária	Final
Realismo - nível I	-	-	E
Realismo - nível II	E, F, G	E	-
Empirismo - nível I	D	-	-
Empirismo - nível II	B, C	D	D
Racionalismo - nível I	A	C	B, C
Racionalismo - nível II	-	A, B	A

Fonte: Autores.

Considerando as zonas filosóficas, os resultados obtidos por fase da pesquisa são apresentados na Figura a seguir.

Figura 47 - Concepções sobre Ligação metálica por zona e fase da pesquisa para o contexto tradicional

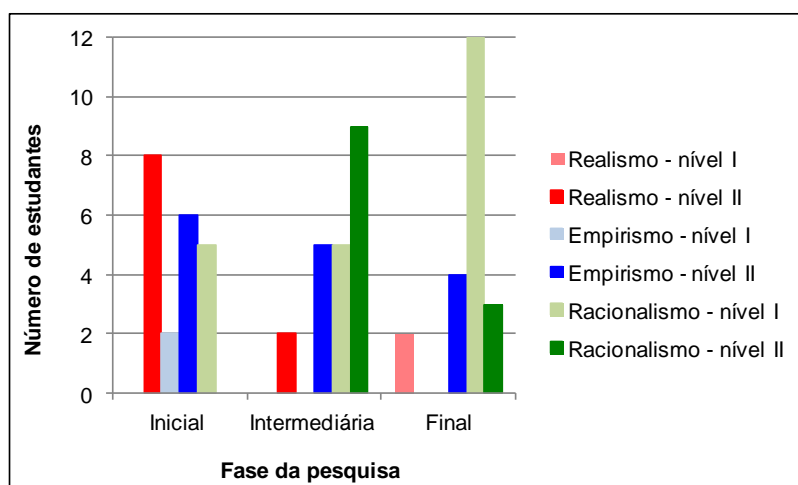


Fonte: Autores.

Na fase inicial, as zonas realistas e empiristas apresentaram o mesmo índice, totalizando juntas 76,1% das ideias expostas. Na fase intermediária, a maior parte dos estudantes (66,6%) superou obstáculos derivados do senso comum e da observação, avançando seus pensamentos para a zona racionalista. Ao final, o índice dessa última subiu para 71,4%, enquanto as ideias da zona empirista decresceram e da realista mantiveram-se constante.

A Figura 48 expõe o gráfico que apresenta o número de estudantes classificados por zona e nível hierárquico.

Figura 48 - Concepções sobre Ligação metálica por zona e nível, em cada fase da pesquisa, para o contexto tradicional



Fonte: Autores.

Inicialmente, 38% dos estudantes apresentaram concepções realistas, carregadas de senso comum e aspectos do cotidiano, dentre as quais se destacam representações de objetos metálicos e respostas simplistas do tipo “ligação entre metal e metal”. As ideias empiristas também obtiveram 38% na fase inicial, parte delas (9,5%) fez menção a um aglomerado de entidades sem alusão a força eletrostática (nível I), enquanto que o restante (28,5%) apresentou confusões entre os modelos das ligações químicas (nível II). Em menor número, as ideias atreladas a zona racionalista ficaram restritas ao nível I (23,8%).

Na fase intermediária, as ideias racionalistas - nível II obtiveram maior frequência (42,9%). Isso ocorreu devido ao entendimento do modelo mar de elétrons e da natureza da ligação metálica, além do estabelecimento de três ou mais relações com outros conceitos. Na fase final, apesar do índice de ideias racionalistas ter aumentado, o estabelecimento de relações nas explicações dos estudantes diminuiu o que explica o decréscimo observado no nível II e o aumento do nível I.

O Quadro 75 apresenta o perfil epistemológico para os 21 sujeitos do contexto tradicional referente à dimensão Ligação metálica.

Quadro 75 - Análise individual das concepções dos estudantes do contexto tradicional sobre Ligação metálica

	Et1	Et2	Et3	Et4	Et5	Et6	Et7	Et8	Et9	Et10	Et11	Et12	Et13	Et14	Et15	Et16	Et17	Et18	Et19	Et20	Et21
F <sub>1</sub>	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Empirismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível II
F <sub>2</sub>	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Realismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II
F <sub>3</sub>	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Racionalismo - nível I	Racionalismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I	Realismo - nível II	Realismo - nível I

Legenda:

<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível I	<span style="color: lightblue;">■</span> Empirismo - nível I	<span style="color: lightgreen;">■</span> Racionalismo - nível I
<span style="color: red;">■</span> Realismo - nível II	<span style="color: blue;">■</span> Empirismo - nível II	<span style="color: green;">■</span> Racionalismo - nível II

F<sub>1</sub> - Fase inicial, F<sub>2</sub> - Fase intermediária e F<sub>3</sub> - Fase final.

Fonte: Autores.

Os estudantes Et10 e Et13 apresentaram um perfil completo, expondo ideias das três filosofias nas três fases da pesquisa. Outros evoluíram conceitualmente sem expressar ideias atreladas a uma zona: 19% tiveram traçado o perfil *realismo* → *racionalismo* e 23,8% o perfil do tipo *empirismo* → *racionalismo*. O Et9 e o Et14 apesar de na fase intermediária retrocederem suas ideias, ao final da pesquisa progrediram para a zona racionalista.

14,3% dos sujeitos (Et2, Et5 e Et16) apresentaram ideias racionalistas em todas as fases da pesquisa para a dimensão ligação metálica. Enquanto que o Et21 apresentou apenas ideias realistas, o que permite concluir que este estudante não rompeu com obstáculos da observação primeira e apresentou explicações sem cunho científico.

Parte dos estudantes (23,8%), incluindo o Et21, além do Et15, Et18, Et19 e Et20, retrocedeu de zona filosófica na fase final. Alguns retornaram para a zona empirista e outros para a realista, o que sinaliza a não compreensão do modelo mar de elétrons, bem como a falta de fundamentação quanto à natureza da ligação metálica. As previsões do comportamento dos metais, quando feitas por eles, foram baseadas em aplicações de regras gerais ou em observações a partir de situações vivenciadas em sala de aula ou do cotidiano.

## II.5.5 Construção do perfil epistemológico para as ligações químicas

### II.5.5.1 Contexto da SEA

A partir das quatro dimensões de análise foi possível traçar o perfil epistemológico de ligações químicas para os 29 sujeitos do contexto da SEA. O Quadro a seguir apresenta o perfil de cada estudante juntamente com os valores atribuídos para as zonas filosóficas e níveis hierárquicos, conforme estabelecido na seção método de análise dos dados nas Tabelas 13 e 14.

Quadro 76 - Perfil epistemológico de ligações químicas para os estudantes do contexto da SEA

	Es1	Es2	Es3	Es4	Es5	Es6	Es7	Es8	Es9	Es10	Es11	Es12	Es13	Es14	Es15	Es16	Es17	Es18	Es19	Es20	Es21	Es22	Es23	Es24	Es25	Es26	Es27	Es28	Es29
Estabilidade	3,00	2,25	1,20	2,25	2,25	3,00	3,00	2,25	2,25	3,00	2,25	1,20	2,25	1,20	3,00	3,00	2,25	1,20	3,00	2,25	1,20	2,25	2,50	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00
Iônica	2,25	2,50	3,00	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,50	2,00	3,00	2,50	2,00	2,25	3,00	2,50	2,25	2,25	2,50	2,25	2,50	2,00	2,50	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00
Covalente	1,40	1,40	3,00	2,75	2,75	2,75	1,40	2,25	2,25	2,75	0,50	2,25	2,25	2,75	2,00	2,25	2,25	0,50	2,00	2,75	2,25	3,00	1,60	2,75	1,60	3,00	1,60	1,60	1,60
Metálica	2,25	2,25	3,00	3,00	3,00	3,00	2,25	2,00	2,25	2,25	0,50	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	0,50	2,25	3,00	0,50	2,25	0,50	2,25	0,50	3,00	1,20	2,00	2,00

Legenda:

Valor 0,50  
Valor 1,00

Valor 1,20  
Valor 1,40  
Valor 1,60  
Valor 1,80  
Valor 2,00

Valor 2,25  
Valor 2,50  
Valor 2,75  
Valor 3,00

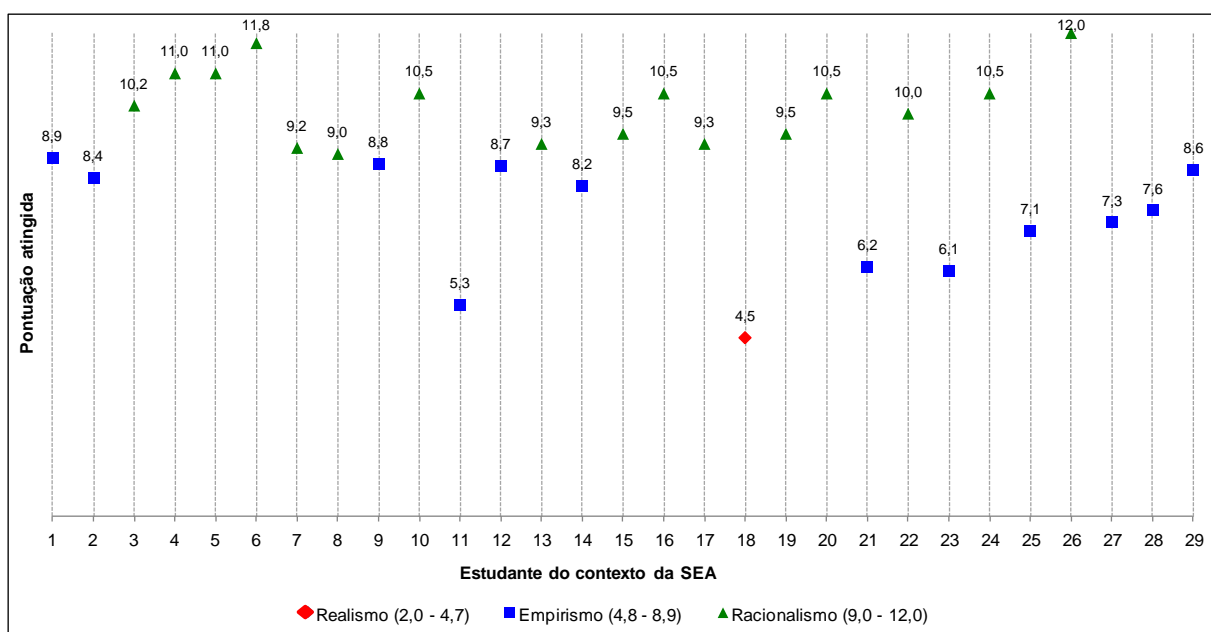
Fonte: Autores.



Pelo Quadro 76 detectou-se que 37,9% dos perfis são puramente racionalistas, enquanto que apenas um empirista. Os demais (58,6%) são formados por ideias de diferentes origens, o que conseqüentemente resulta em uma pluralidade conceitual que compõe o pensamento dos estudantes acerca das ligações químicas.

Considerando a faixa de valores atribuída para cada zona filosófica (Legenda do Gráfico da Figura 49) a pontuação individual dos estudantes, bem como as zonas predominantes dos seus perfis são expostas na Figura a seguir.

Figura 49 - Pontuação e zona predominante do perfil de cada estudante do contexto da SEA



Fonte: Autores.

A maioria dos alunos do contexto da SEA (55,2%) apresentou ideias predominantemente racionalistas nas quatro dimensões de análise. Esses estudantes compreenderam a natureza das ligações químicas, justificando as atrações e repulsões entre átomos e íons pelas forças eletrostáticas. Além disso, representaram a maioria das substâncias pelos modelos curriculares dos três tipos de ligações interatômicas, muitas vezes, estabelecendo relações com suas propriedades físicas.

Um grande número de estudantes (41,4%) expôs a maior parte de suas explicações baseadas em observações e regras gerais, o que resultou na caracterização do perfil como empirista. As ideias mais comuns deste grupo foram: aplicação da regra do octeto ou de mecanismos automáticos para o estabelecimento das ligações iônica (transferência de elétrons) e covalente (compartilhamento de elétrons).

Essas regras os impediram de avançar seu conhecimento no sentido de um racionalismo científico. Em muitas situações, eles não pensaram na estabilidade química a partir de aspectos energéticos, bem como não representaram as substâncias iônicas por intermédio do retículo cristalino, modelo que explica as propriedades desses compostos. Não estabeleceram relações entre as interações do núcleo e eletrosfera e a formação dos compostos moleculares, além de não representarem o modelo mar de elétrons para justificar as propriedades físicas dos metais. A preocupação foi em aplicar algumas das regras gerais mencionadas, sem pensar no caso específico que lhes foi proposto para análise.

Segundo Bachelard (2009), a tentativa de explicar os fenômenos a partir da aplicação de regras gerais constitui na verdade um conhecimento vago, que muitas vezes impede a evolução do pensamento científico. Desta forma, os estudantes que tiveram seu pensamento dominado por ideias empiristas não superaram o obstáculo do conhecimento geral.

Outro tipo de pensamento típico da zona empirista foi avaliar situações ou fenômenos a partir de suas observações. Por exemplo, um critério utilizado por alguns estudantes para julgar a estabilidade do cloreto de sódio foi sua solubilidade em água. Nesse pensamento não consta um raciocínio científico, apenas inferências feitas a partir da experimentação.

Apenas um estudante (3,4%) não utilizou termos científicos em suas explicações, expondo na maioria das vezes noções realistas, ou seja, impregnadas de senso comum. Os principais pensamentos dessa zona detectados foram: atribuir ao termo estabilidade química significados derivados do sentido semântico da palavra “estabilidade”, acreditar que os grãos visíveis do sal de cozinha correspondem ao retículo cristalino, comparar a ligação covalente com uma corda que une os elétrons com o núcleo ou representar objetos de metais para se referir à ligação metálica.

Essas noções representam obstáculos epistemológicos derivados da observação primeira, que na maioria dos casos foi superado pelos sujeitos da pesquisa.

A partir dos índices apresentados para cada zona predominante no perfil dos estudantes, infere-se que o conhecimento científico de ligações químicas é influenciado por ideias empiristas e racionalistas. Pelos resultados obtidos, os problemas conceituais que se têm hoje no ensino médio, provêm do conhecimento escolar, que reforça as ideias alternativas dos estudantes.

A fim de analisar se existe relação entre os níveis de representação da matéria e a zona do perfil epistemológico, as explicações fornecidas pelos estudantes a questões que exigem a interpretação de fatos cotidianos e fenômenos macroscópicos foram avaliadas. Em uma primeira análise, considerando apenas os níveis de representação da matéria, detectou-se que:

- dois estudantes (6,9%) consideraram apenas o nível macroscópico em suas explicações;
- 12 (41,4%) utilizaram termos específicos da Química, como átomos, íons, elétrons, entre outros, e os relacionaram com os fenômenos observáveis;
- 15 (51,7%) estabeleceram relações entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos, representando os fenômenos por meio de modelos aceitos cientificamente.

Em relação ao conhecimento de ligações químicas e a capacidade de transição entre os níveis de representação da matéria, os estudantes do contexto da SEA podem ser representados por seis perfis, conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - Perfis que emergiram a partir dos níveis de representação da matéria para o contexto da SEA

<b>Racionalista - Representacional</b> 11 estudantes (37,9%)		<b>Racionalista - Submicroscópico</b> 05 estudantes (17,2%)
<b>Empirista - Representacional</b> 04 estudantes (13,8%)	<b>Empirista - Submicroscópico</b> 07 estudantes (24,1%)	<b>Empirista - Macroscópico</b> 01 estudante (3,4%)
<b>Realista - Macroscópico</b> 01 estudante (3,4%)		

Fonte: Autores.

O perfil epistemológico aliado aos níveis de representação da matéria para cada um dos 29 estudantes do contexto da SEA é apresentado no Quadro 77.

Quadro 77 - Perfil epistemológico considerando os níveis de representação da matéria para o contexto da SEA

<b>Estudante</b>	<b>Perfil</b>
Es1	Empirista - submicroscópico
Es2	Empirista - representacional
Es3	Racionalista - representacional
Es4	Racionalista - representacional
Es5	Racionalista - representacional
Es6	Racionalista - representacional
Es7	Racionalista - submicroscópico
Es8	Racionalista - representacional
Es9	Empirista - submicroscópico
Es10	Racionalista - submicroscópico
Es11	Empirista - submicroscópico
Es12	Empirista - representacional
Es13	Racionalista - submicroscópico
Es14	Empirista - submicroscópico
Es15	Racionalista - submicroscópico
Es16	Racionalista - representacional
Es17	Racionalista - representacional
Es18	Realista - macroscópico
Es19	Racionalista - representacional
Es20	Racionalista - submicroscópico
Es21	Empirista - macroscópico
Es22	Racionalista - representacional
Es23	Empirista - representacional
Es24	Racionalista - representacional
Es25	Empirista - representacional
Es26	Racionalista - representacional
Es27	Empirista - submicroscópico
Es28	Empirista - representacional
Es29	Empirista - submicroscópico

Fonte: Autores.

Os estudantes que em suas respostas, transitaram entre as três dimensões do conhecimento químico foram classificados no nível “representacional”. Ao total foram 15 estudantes (51,7%), dos quais 11 apresentaram ideias predominantemente racionalistas e quatro empiristas. Em relação ao nível “submicroscópico”, 12 (41,4%) estudantes utilizaram a linguagem química para explicar os fatos macroscópicos, porém não representaram os fenômenos, estabelecendo conexão entre dois níveis de

representação da matéria. Desses estudantes, cinco apresentaram um perfil majoritariamente racionalista e sete do tipo empirista. Dois estudantes (6,9%) consideraram apenas aspectos observáveis em suas respostas, sendo classificados no nível “macroscópico”, os quais apresentaram perfis empirista e realista.

### II.5.5.2 Contexto tradicional

O perfil epistemológico de ligações para cada um dos 21 sujeitos do contexto tradicional é apresentado no Quadro 78, bem como os atribuídos para cada nível.

Quadro 78 - Perfil epistemológico de ligações químicas para os estudantes do contexto tradicional

	Et1	Et2	Et3	Et4	Et5	Et6	Et7	Et8	Et9	Et10	Et11	Et12	Et13	Et14	Et15	Et16	Et17	Et18	Et19	Et20	Et21
Estabilidade	3,00	3,00	3,00	3,00	2,25	2,25	3,00	3,00	2,25	3,00	3,00	3,00	3,00	0,50	2,25	2,25	2,25	1,20	1,20	1,20	1,20
Iônica	2,50	3,00	2,25	2,25	2,50	2,25	2,25	3,00	2,25	2,50	2,50	2,75	2,25	2,75	2,50	2,25	3,00	1,60	1,60	1,60	1,60
Covalente	2,00	2,75	2,75	2,00	2,50	1,00	2,00	2,75	1,00	2,50	2,75	2,25	1,60	2,25	2,75	2,25	2,75	1,60	1,60	1,60	1,60
Metálica	2,25	3,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	3,00	2,25	2,25	2,25	3,00	2,25	2,25	2,00	2,25	2,25	1,60	0,50	2,00	0,50

Legenda:

Valor 0,50

Valor 1,00

Valor 1,20

Valor 1,40

Valor 1,60

Valor 1,80

Valor 2,00

Valor 2,25

Valor 2,50

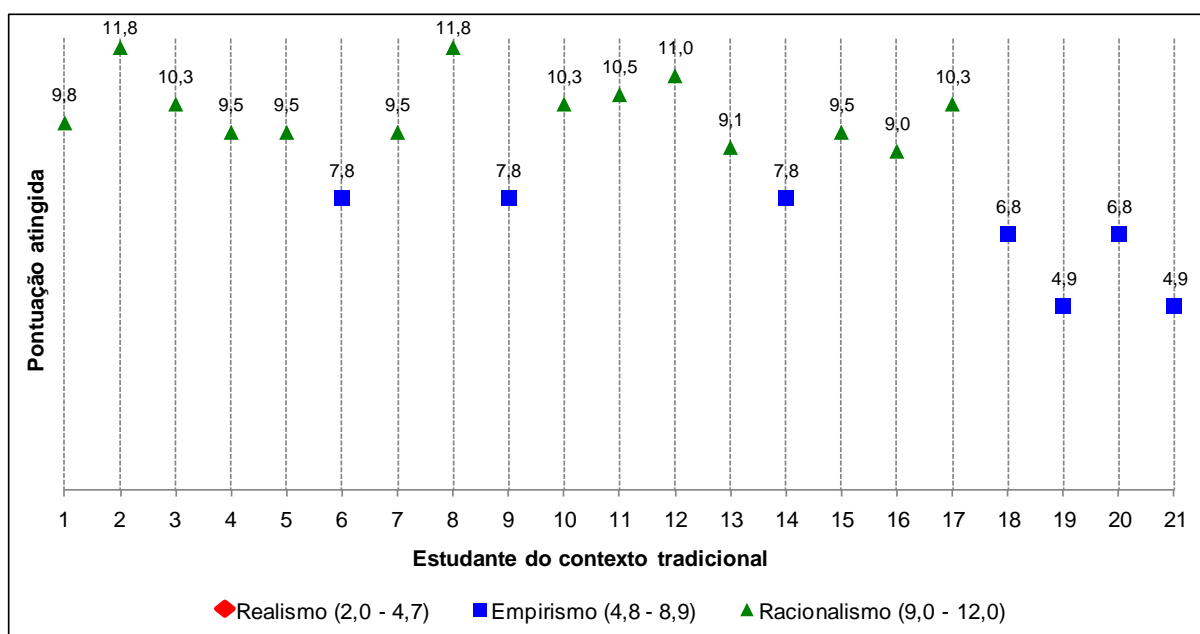
Valor 2,75

Valor 3,00

Fonte: Autores.

Pouco mais da metade dos estudantes apresentaram respostas e representações classificadas em apenas uma zona filosófica nas quatro dimensões de análise: 42,9% apresentaram perfis puramente racionalistas e dois estudantes (9,5%) empiristas. O restante (47,6%) expôs ideias que foram classificadas em diferentes zonas ao longo da pesquisa. Na Figura 50 é apresentada a pontuação individual dos estudantes e a zona predominante de seus perfis.

Figura 50 - Pontuação e zona predominante do perfil de cada estudante do contexto tradicional



Fonte: Autores.

No contexto tradicional não foi detectado perfil predominantemente realista. As ideias dos estudantes referentes ao conteúdo de ligações químicas são derivadas das zonas empirista (33,3%) e racionalista (66,6%). Esse resultado corrobora com o obtido no contexto da SEA, o que sugere que os problemas conceituais apresentados pelos estudantes que participaram desta pesquisa foram adquiridos, principalmente, no ambiente escolar.

Levando em consideração os níveis de representação da matéria, detectou-se que:

- seis estudantes (28,6%) consideraram apenas o nível macroscópico em suas explicações;
- nove (42,8%) utilizaram termos específicos da Química, como átomos, íons, elétrons, entre outros, e os relacionaram com os fenômenos observáveis;
- seis (28,6%) estabeleceram relações entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos, representando os fenômenos por meio de modelos aceitos cientificamente.

Na Tabela 16 são expostos os cinco perfis que representam o conhecimento de ligações químicas e os níveis de representação da matéria utilizados pelos estudantes do contexto tradicional.

Tabela 16 - Perfis que emergiram a partir dos níveis de representação da matéria para o contexto tradicional

Racionalista - Representacional	Racionalista - Submicroscópico	Racionalista - Macroscópico
6 estudantes (28,6%)	5 estudantes (23,8%)	3 estudantes (14,3%)
Empirista - Submicroscópico		Empirista - Macroscópico
4 estudantes (19%)		3 estudantes (14,3%)

Fonte: Autores.

O perfil epistemológico aliado aos níveis de representação da matéria é expresso individualmente para os estudantes do contexto tradicional no Quadro 79.

Quadro 79 - Perfil epistemológico considerando os níveis de representação da matéria para o contexto tradicional

(continua)

Estudante	Perfil
Et1	Racionalista - macroscópico
Et2	Racionalista - representacional
Et3	Racionalista - submicroscópico
Et4	Racionalista - submicroscópico
Et5	Racionalista - representacional
Et6	Empirista - submicroscópico
Et7	Racionalista - representacional
Et8	Racionalista - representacional
Et9	Empirista - macroscópico
Et10	Racionalista - submicroscópico
Et11	Racionalista - submicroscópico
Et12	Racionalista - macroscópico
Et13	Racionalista - macroscópico

Quadro 79 - Perfil epistemológico considerando os níveis de representação da matéria para o contexto tradicional

(conclusão)

Estudante	Perfil
Et14	Empirista - submicroscópico
Et15	Racionalista - representacional
Et16	Racionalista - submicroscópico
Et17	Racionalista - representacional
Et18	Empirista - macroscópico
Et19	Empirista - macroscópico
Et20	Empirista - submicroscópico
Et21	Empirista - macroscópico

Fonte: Autores.

Os estudantes classificados no nível “representacional” (28,6%) apresentaram ideias predominantemente racionalistas ao longo da pesquisa. Dentre os classificados no nível “submicroscópico” (42,8%), cinco apresentaram um perfil majoritariamente racionalista e quatro do tipo empirista. Dos seis estudantes que consideraram apenas o nível “macroscópico” (28,6%), três apresentaram perfil racionalista e três do tipo empirista.

## II.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Diante do exposto, pode-se afirmar que houve um avanço conceitual dos participantes desta pesquisa, tanto do contexto tradicional quanto da SEA. Considerando os 50 estudantes pesquisados, no que se refere às zonas do perfil, obteve-se o seguinte resultado:

- 30 apresentaram um perfil predominantemente **racionalista**, dentre os quais 16 participaram da SEA e 14 do contexto tradicional;
- 19 **empiristas**, em que 12 participaram da SEA e sete do contexto tradicional;
- apenas um **realista**, pertencente aos sujeitos da SEA.

A abordagem das ligações químicas nestes dois contextos capacitou os estudantes a interpretar situações cotidianas através dos níveis de representação da matéria. Partindo do total de sujeitos, o resultado obtido considerando a transição entre os níveis macroscópico, submicroscópico e representacional, foi o seguinte:



- 21 estudantes (42%) tiveram suas explicações classificadas em **representacional**, ou seja, utilizaram os três níveis em suas explicações, dos quais 15 participaram da SEA e seis do contexto tradicional;

- 21 (42%) estudantes foram classificados no nível **submicroscópico**, pois utilizaram as dimensões macroscópicas e submicroscópicas em suas explicações, em que nove foram participantes da SEA e 12 do contexto tradicional;

- oito (16%) consideraram apenas o nível **macroscópico**, sendo dois deles sujeitos da SEA e seis do contexto tradicional.

Mais da metade dos estudantes (51,7%) que participou da SEA desenvolveu a capacidade de transitar entre os três níveis de representação da matéria. No contexto tradicional, este índice corresponde a menos de 30% dos sujeitos.

Essa significativa diferença pode ser decorrente das atividades de modelagem e experimental desenvolvidas, que conforme apontam outras pesquisas (MENDONÇA, 2008; WARTHA; GUZZI FILHO; DE JESUS, 2012), favorecem a explicação dos fenômenos atrelada aos níveis macroscópico, submicroscópico e representacional. Nesse sentido, é importante que o ensino de ligações químicas priorize situações que proporcionem o estabelecimento de relações entre essas dimensões, pois conforme apontam Kozma e Russel (1997) aprender Química consiste em encontrar sentido no invisível e no intocável.

De maneira geral, detectou-se que quanto mais próximo do racionalismo se encontra o conhecimento do estudante, maior a probabilidade de desenvolver a capacidade de transição entre os níveis de representação da matéria. Em relação a isso, observou-se que dos 21 estudantes que transitaram entre os três domínios do conhecimento químico, 18 apresentaram perfis majoritariamente racionalistas.

Portanto, conclui-se que existe relação entre a zona do perfil epistemológico e a capacidade de transição entre os níveis da matéria, sendo necessário certo grau de profundidade no conhecimento sobre a estabilidade química e a natureza das interações entre átomos e íons para que os estudantes possam interpretar situações cotidianas por meio do universo submicroscópico e da linguagem química.



## CAPÍTULO 4

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de investigar a construção do conhecimento em ligações químicas no ensino médio, desenvolveu-se a presente pesquisa em duas partes. Por intermédio da primeira parte obteve-se uma visão geral sobre a situação do ensino e aprendizagem do tópico neste nível, cujos resultados apontaram para o seguinte panorama:

- As ideias dos estudantes após o ensino formal revelaram uma série de distorções conceituais. A estabilidade química, conceito central para o entendimento das ligações químicas, foi justificada por meio da regra do octeto na maioria das situações propostas. O tipo de ligação predominante nas substâncias iônicas e moleculares foi identificado por mais da metade dos estudantes, sendo que para a metálica esse índice caiu para menos de 40%. Além disso, detectou-se que os estudantes não compreenderam a natureza das ligações químicas, apresentaram confusões entre os modelos curriculares das ligações interatômicas, bem como não relacionaram os níveis de representação da matéria durante o estudo do tópico. Perceberam-se problemas em outros conceitos necessários para as ligações químicas, tais como: estrutura da matéria, formação de íons e propriedades periódicas.

- Os quatro livros didáticos do PNLD (2015-2017) sugerem uma variedade de recursos didáticos nos capítulos destinados às ligações químicas. Observou-se que as atividades experimentais propostas carecem de caráter investigativo e poucos recursos partem de situações problemáticas, com exceção dos projetos sugeridos. No que se refere à abordagem conceitual, apenas uma das quatro obras avaliadas não emprega a regra do octeto para explicar a estabilidade química, enquanto que as demais estabelecem esta relação e ponderam a regra adequada para o nível médio. As denominações “mar de elétrons” e “gás de elétrons” foram utilizadas para se referir ao modelo curricular da ligação metálica. Infere-se que não há um consenso na literatura indicada, o que em parte pode ser responsável pela falta de clareza sobre o tópico no ensino médio. De maneira geral, o modelo de Rutherford-Bohr-Sommerfeld, que leva em consideração a constituição interna do átomo, bem como as estruturas de Lewis e o diagrama de linhas constituem,

respectivamente, o modelo e os tipos de representação mais empregados. Quanto aos recursos visuais, foram identificadas poucas sequências didáticas problematizadoras, a maior parte delas define ou aplica conceitos. As imagens do tipo fotografia e os desenhos esquemáticos são utilizados frequentemente pelos LD, contemplando diferentes graus de iconicidade. Considerando aspectos quantitativos, a ligação covalente é a mais enfatizada e a metálica é a que apresenta o menor número de ilustrações. A maior parte das imagens relaciona apenas um dos níveis de representação da matéria, sendo privilegiados os níveis macroscópico e simbólico. Imagens que abordam os diferentes níveis deveriam ser mais empregadas, pois auxiliam no desenvolvimento da capacidade de transição entre as dimensões do conhecimento químico, aspecto fundamental para interpretar situações cotidianas em nível atômico-molecular.

- Os professores do ensino médio entrevistados consideraram importante ensinar ligações químicas. Eles julgaram o conteúdo como um pré-requisito para a aprendizagem de outros, o que caracteriza uma concepção conservadora de ensino. Apenas um, dos quatro professores, apresentou uma visão pragmática, quando avaliou relevante ensinar o tópico para a compreensão de aspectos do dia a dia. Todos os professores costumam justificar a estabilidade química por meio da regra do octeto, conceito que consideram inquestionável para o nível de profundidade do ensino médio. Investem pouco tempo de suas aulas no ensino da ligação metálica e enfatizam aspectos abstratos e representacionais em detrimento dos macroscópicos. O modelo didático dos professores, referente às estratégias de ensino, é eclético, ou seja, composto por diferentes concepções descritas pela literatura. Também, observou-se que as metodologias de ensino adotadas tendem a um viés mais tradicional do que as que eles gostariam de empregar, essas últimas apoiadas em pressupostos construtivistas. Pelo que se detectou, atualmente o ensino de ligações químicas está centrado no professor e ocorre por meio da exposição de conceitos com auxílio do LD e exercícios de fixação. Quanto aos professores universitários entrevistados, eles relataram que os calouros chegam ao ensino superior com muitas defasagens provenientes do ensino médio, dentre as quais destacaram a falta de conhecimento sobre a natureza e os modelos das ligações químicas.

Este panorama evidenciou problemas conceituais, principalmente no que se refere à estabilidade química e a natureza das interações interatômicas. A interpretação de situações e substâncias presentes no cotidiano ficou comprometida por meio da abordagem detectada. O conhecimento prévio de tal situação foi importante para orientar a execução da segunda parte da pesquisa.

A investigação da construção do conhecimento ocorreu em dois contextos distintos, a SEA e o tradicional. Em ambos, utilizou-se a termodinâmica e o modelo eletrostático como fundamento teórico para a abordagem das ligações químicas. Justifica-se essa opção teórica pela tentativa de evitar a geração de concepções alternativas aos modelos curriculares, que podem ser responsáveis por provocar algumas das distorções conceituais encontradas na Unidade I desta pesquisa. Além disso, respaldou-se em pesquisas da área, tais como as de Toma (2013, 1997), Mendonça (2008), Santos Filho (2007), Melo (2002), Taber (2000), Mortimer, Mol e Duarte (1994), dentre outras, que apontam a fundamentação teórica adotada coerente com o nível médio.

O conhecimento em ligações químicas envolve uma rede conceitual ampla e articulada. Conforme aponta Bachelard (2009), todo conceito pode ser interpretado sob muitos pontos de vista, embasados em diferentes perspectivas filosóficas. Em específico, na segunda parte da pesquisa, avaliou-se o conhecimento dos estudantes por meio de quatro dimensões de análise, que compõem o perfil epistemológico das ligações químicas. Os resultados encontrados foram:

- Na dimensão Estabilidade química, inicialmente foram fornecidas explicações carregadas de senso comum. A zona realista predominou nos dois contextos, na qual foram detectados obstáculos relacionados à observação primeira, tais como: estabilidade química concebida como um lugar físico ou associações entre o termo científico e significados semânticos da palavra estabilidade. Ao final da pesquisa, destacaram-se as concepções racionalistas, que corresponderam a 72,4% e 76,1% dos sujeitos dos contextos da SEA e tradicional respectivamente. Esses construíram a ideia de que a estabilidade química é consequência da diminuição da energia potencial do sistema, após a formação da ligação química. Além disso,

detectaram-se concepções empiristas, dentre as quais a regra do octeto se destacou como principal obstáculo epistemológico.

- Durante a construção do conhecimento em Ligação iônica, segunda dimensão, perceberam-se barreiras epistemológicas de diversas naturezas. Obstáculos animistas, que atribuem vida e sentimento às entidades químicas, foram encontrados em representações de íons na forma de “bonecos” ou em explicações escritas, como “os metais *gostariam* de doar elétrons”. Foram identificadas ideias atreladas à observação primeira, por exemplo, imaginar que o retículo cristalino corresponde a um grão do sal de cozinha. Também, identificou-se a aplicação de regras do tipo “transferência de elétrons” ou “metal e não metal”, utilizadas sem uma racionalidade e de forma generalizada, o que constituiu um obstáculo do conhecimento geral. Esse tipo de concepção impediu o desenvolvimento da ideia de retículo cristalino, resultando em representações do tipo ‘molécula’ para os compostos iônicos. Inicialmente, para esta dimensão foram encontradas ideias classificadas apenas nas zonas realista e empirista. Na fase final, em torno de 80% dos sujeitos romperam com os obstáculos mencionados e apresentaram ideias racionalistas, ou seja, a ligação iônica foi compreendida como uma atração entre íons de cargas opostas, resultante da energia liberada na formação do retículo cristalino.

- Na terceira dimensão, Ligação covalente, a falta de noções sobre a estrutura da matéria e a propriedade periódica eletronegatividade constituíram entraves para o entendimento da natureza da ligação. Observou-se uma forte influência do pensamento empirista nesta dimensão. Na fase inicial, ideias provindas desta zona corresponderam a 86,2% e 76,2% dos estudantes dos contextos da SEA e tradicional respectivamente. Identificaram-se obstáculos do tipo conhecimento geral, expressos por meio da aplicação de regras como octeto, compartilhamento ou transferência de elétrons, que comprometeram o pensamento a respeito da atração entre núcleo e eletrosfera dos átomos, bem como da densidade eletrônica e polaridade da ligação. Ao final da pesquisa, 58,6% dos participantes da SEA e pouco mais da metade (52,4%) dos sujeitos do contexto tradicional apresentaram explicações racionalistas. Este avanço ocorreu, principalmente, em decorrência da compreensão da estrutura da matéria e do conceito de eletronegatividade. Isso

proporcionou o entendimento da natureza da ligação covalente, consequência da atração entre os núcleos e elétrons dos átomos, bem como a diferenciação da polaridade da ligação.

- Na dimensão Ligação metálica, inicialmente destacou-se como um obstáculo o entendimento da natureza desta interação. Observaram-se representações inconclusivas dos compostos metálicos, nas quais aglomerados de espécies químicas (átomos ou íons, esquematizados de forma indiferenciada) foram representados sem menção a força responsável pela união. Também se identificaram confusões com outros modelos de ligações interatômicas, sendo esses: transferência e compartilhamento de elétrons. Essas ideias constituíram entraves relacionados à zona empirista. Em todas as fases da pesquisa estiveram presentes explicações pré-científicas, por meio de alusões a compostos metálicos do dia a dia e sem embasamento teórico. Ao final da pesquisa, aproximadamente 70% dos estudantes superaram os obstáculos derivados do senso comum e da observação, apresentando um pensamento racionalista. Esses estudantes compreenderam a ligação metálica como uma atração eletrostática entre cátions e elétrons, além de utilizarem o modelo mar de elétrons para representar as substâncias.

A partir do referencial teórico utilizado, concluiu-se que a construção do conhecimento em ligações químicas pelos estudantes dos dois contextos ocorreu por meio da superação de obstáculos epistemológicos, atrelados às zonas filosóficas realista e empirista. As quatro dimensões descritas formam o perfil epistemológico de ligações químicas, que propiciou a avaliação das ideias dos estudantes nas diferentes fases da pesquisa, mostrando-se uma interessante ferramenta de análise para a área de ensino.

Pela avaliação do perfil dos estudantes foi possível detectar que suas concepções podem ser derivadas de diferentes zonas filosóficas para as quatro dimensões. Neste contexto, observou-se que 55,2% e 66,6% dos sujeitos dos contextos da SEA e tradicional respectivamente, apresentaram um perfil majoritariamente racionalista. Enquanto que 41,4% (SEA) e 33,3% (tradicional) tiveram o perfil caracterizado como empirista e apenas um estudante, participante da SEA, teve seu perfil predominantemente realista.

Os resultados indicam que o conhecimento de ligações químicas foi construído em ambos os contextos. É importante ressaltar que os professores desenvolveram os conceitos relacionados às ligações químicas a partir do mesmo embasamento teórico, apenas utilizando métodos diferenciados. Com isso, atenta-se para a relevância de o professor ter uma clareza teórica e um planejamento didático bem definido para que aumente a probabilidade de obter resultados almejados independente do contexto, como foi o caso da presente pesquisa.

Além disso, pela análise do perfil epistemológico dos estudantes, percebeu-se a superação de obstáculos detectados em fases anteriores nas posteriores. Isso pode ser consequência do conhecimento prévio dos professores de potenciais concepções alternativas geradas a partir do desenvolvimento das ligações químicas em sala de aula. Desta forma, salienta-se a importância do professor investir em leituras que abordem o tema, bem como investigar as concepções e defasagens de seus próprios alunos.

Constatou-se que existe relação entre a zona do perfil epistemológico e a capacidade de transição entre os níveis de representação da matéria. A maior parte das explicações que relacionaram, simultaneamente, os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico foram emitidas por estudantes que apresentaram perfis racionalistas. Além disso, detectou-se que pouco mais da metade dos participantes da SEA (51,7%) relacionou os três níveis da matéria, enquanto que esse índice no contexto tradicional foi de 28,6%.

A partir destes resultados, percebe-se que a capacidade de interpretar situações cotidianas em nível atômico-molecular, bem como representá-las por meio da linguagem química foi favorecida pelo desenvolvimento do pensamento racionalista. Neste caso, o contexto metodológico parece ter sido decisivo, o que pode ser consequência das atividades de modelagem e experimental desenvolvidas, que estimularam os estudantes a imaginar fenômenos em nível submicroscópico, além de representar suas observações por intermédio da simbologia da Química.

Portanto, pode-se não ter observado vantagens em relação à SEA levando-se em conta apenas às zonas do perfil epistemológico, no entanto considerando a capacidade de transição entre os níveis de representação é nítida a diferença entre os



dados obtidos. Isso reforça a importância de se desenvolver atividades investigativas, que proporcionem o estudo dos conceitos atrelado às diferentes dimensões do conhecimento químico e que coloquem o estudante como centro do processo de ensino e aprendizagem.

A partir das inferências feitas, sugere-se aos professores do ensino médio que, ao desenvolverem as ligações químicas, levem em conta aspectos termodinâmicos para justificar a estabilidade das substâncias e o modelo eletrostático para elucidar a natureza das interações. Para que o ensino proposto se aproxime do modelo científico, aconselha-se:

- Demonstrar, por meio de dados termodinâmicos (valores referentes às energias de ionização, afinidade eletrônica e eletronegatividade), que a formação de uma ligação química é um processo exotérmico e que a substância formada é estável por possuir menos energia do que os átomos ou íons isolados.
- Utilizar o modelo eletrostático, bem como a lei de Coulomb para fundamentar a natureza das ligações interatômicas. Isso possibilitará o entendimento submicroscópico dos modelos curriculares das ligações iônica, covalente e metálica.
- Apresentar de forma concomitante as propriedades macroscópicas das substâncias com os modelos curriculares das ligações químicas. Essa abordagem proporciona um estudo simultâneo do comportamento das substâncias atrelado aos níveis submicroscópico e representacional. Por exemplo, a explicação da alta temperatura de fusão, que é comum aos compostos iônicos, por meio do desenvolvimento do modelo reticular, resultante das várias interações entre os íons. De maneira semelhante, abordar outras propriedades como solubilidade em água, estado físico, condutividade elétrica, maleabilidade, dureza, etc.

Este estudo evidenciou que é importante clareza teórica em relação aos modelos curriculares e planejamento didático para que se obtenham resultados satisfatórios no ensino. É nosso dever como professores, conforme salienta Bachelard (2009), buscar a evolução do espírito científico de nossos estudantes, para que cada vez mais suas concepções avancem no perfil epistemológico e fiquem próximas de um racionalismo científico.

Esta tese não esgota as inúmeras possibilidades de investigações acerca do tema abordado. Sugere-se que novas pesquisas, que vislumbrem a interpretação de fenômenos por meio das ligações químicas, incluindo as interações intermoleculares, sejam desenvolvidas para que tenhamos mais respostas sobre como ocorre à construção do conhecimento neste tópico.

Além disso, recomenda-se uma abordagem mais contextualizada do conteúdo de ligações químicas nos cursos de licenciatura, para que os futuros professores possam ter a oportunidade de refletir sobre as maneiras de abordar esse assunto. Também, é preciso investir em cursos de formação continuada de professores de Química, que enfoquem os problemas conceituais decorrentes do processo de ensino e aprendizagem de ligações químicas e proporcionem a eles uma evolução de seus perfis, pois muitos dos problemas detectados podem ter origem em suas concepções.

Em relação às contribuições pessoais, ressalto que este período de doutoramento (desde 2012 a 2016) foi de profícuo desenvolvimento profissional. A execução deste trabalho proporcionou-me uma nova visão sobre o processo de ensino e aprendizagem de ligações químicas, colaborando diretamente com minha atuação profissional. Durante esse período, vivenciei experiências em sala de aula, como professor substituto da UFSM (2014) e efetivo da UNIPAMPA (2014 - atual), nas quais, por razões distintas, tive o contato com o conteúdo de ligações químicas. Foram nestas situações que percebi a vantagem de ter desenvolvido este trabalho, bem como reafirmei o compromisso com os pressupostos que defendemos para o ensino de Química. O legado desta pesquisa para minha formação enquanto professor é buscar desenvolver um ensino que proporcione novos conhecimentos aos estudantes, agregando cientificidade na sua interação com o mundo.

Além disso, durante o período do doutorado tive a oportunidade de desenvolver e colaborar com diversas pesquisas, o que amplificou meus conhecimentos e despertou o gosto pela pesquisa. Foi um período de intensa produção acadêmica e participações em congressos, que propiciaram experiências fundamentais para minha formação como futuro pesquisador da área. Assim, enfatizo que foi um período de pleno desenvolvimento pessoal e profissional.

## REFERÊNCIAS

- ACAR, B.; TARHAN, L. Effects off cooperative learning on students' understanding of metallic bonding. **Research in Science Education**, n. 4, v. 38, p. 401-420, 2008.
- ANDRADE, M. M. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- ARAÚJO, A. O. **O perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas**. 2014. 209 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- AYRES-PEREIRA, T. I. **Transformações químicas: visões e práticas de professores de Ciências**. 2013. 216 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- BACHELARD, G. **A filosofia do não: Filosofia do Novo Espírito Científico**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. Lisboa: Editorial Presença, 2009.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Paris: Edições 70, 1977.
- BEM-ZVI R.; EYLON B. S.; SILBERSTEIN, J. Students' visualization of chemical reactions. **Education in Chemistry**, v. 24, n. 4, p. 117-120, 1987.
- BENARROCH, A. B. Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 1, p. 123-134, 2001.
- BERGQVIST, A.; DRECHSLER, M.; DE JONGB, O.; RUNDGREN, S. N. C.; Representations of chemical bonding models in school textbooks–help or hindrance for understanding?. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 4, p. 589-606, 2013.
- BEZERRA, A. S.; SILVA, R. R. Ligações químicas: as primeiras teorias. **Educación Química**, v. 12, n. 3, p. 179-183, 2001.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Qualitative research for Education: an introduction to theory and methods**. Boston: Allyn and Bacon, 1982, 255 p.

BRADY, J. E.; SENESE, F. **Química**: a matéria e suas transformações. Tradução de Edilson Clemente da Silva et al. Rio de Janeiro: LTC, 2011, 570 p.

BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. O Ensino de Química através de temáticas: contribuições do LAEQUI para a área. **Ciência & Natura**, v. 36, ed. especial II, p. 819-826, 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Matriz de Referência ENEM**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/enem/conteudo-das-provas>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Guia de livros didáticos**: PNLD 2015: apresentação: ensino médio. Brasília, 2014. 52p.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Ensino Básico. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. v. 2. Brasília, 2006. 135 p.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Ensino Básico. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília, 2002. 144 p.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ D.; CARVALHO de, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (organizadores). **A necessária renovação do ensino de Ciências**. 2. ed. São Paulo: Editora Cortez, 2011.

CAMPOS, R. A. J. **Modelos didáticos de professores de química en formación inicial**: un modelo de intervención docente para la enseñanza del Enlace Químico y la Promoción de Competencias de Pensamiento Científico a través de Narrativas. 2012. 268 f. Tese (Doutorado em Ciências da Educação) – Pontifícia Universidade Católica do Chile, Santiago, 2012.

CARMO, M. P. **O desenvolvimento conceitual de estudantes sobre a estrutura da matéria e sua utilização na explicação de fenômenos**: um estudo longitudinal. 2015. 338 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CARNEIRO, M. H. S.; BARROS, M. M. V.; JOTTA, L. A. C. V. As imagens no ensino de Ciências: uma análise de esquemas. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, IV, 2003, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2003.

CARVALHO, A. M. P. Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula. In: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (Org).

**A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas metodologias.** 2. ed. Ijuí: Unijuí, 2011. 440 p.

CARVALHO, N. B.; JUSTI, R. S. Dificuldades dos alunos na construção de modelos mentais de ligação metálica baseados na analogia do “mar de elétrons”. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências, V, 2005a, Bauru. **Anais...** Bauru: ABRAPEC, 2005, p. 1-12.

CARVALHO, N. B.; JUSTI, R. S. Papel da analogia do “mar de elétrons” na compreensão do modelo de ligação metálica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra, p. 1-4, 2005b.

CASADO, G.; RAVIOLO, A. Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. **Universitas Scientiarum**, v. 10, p. 35-42, 2005.

CÁSSIO, F. L.; CORDEIRO, D. S.; CORIO, P.; FERNANDEZ, C. O protagonismo subestimado dos íons nas transformações químicas em solução por livros didáticos e estudantes de química. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, p. 595-619, 2012.

CHAMIZO, J. A.; GUTIÉRREZ, M. Y. Conceptos fundamentales en Química: Valencia. **Educación Química**, v. 15, n. x, p. 359-365, 2004.

CHROBAK, R. Mapas conceptuales y modelos didácticos de profesores de química. In: Congreso Internacional sobre Mapas Conceptuales, 2, 2006, San José, Costa Rica. **Anais eletrônicos...** San José: CMC, 2006.

CHASSOT, A. I. **A Educação no ensino da Química.** Ijuí: Unijuí, 1990. 117 p.

CHASSOT, A. I. **Alfabetização científica:** questões e desafios para a educação. 6. ed. Ijuí: Unijuí, 2014. 368 p.

COLL, R. K.; TAYLOR, N. Alternative conceptions of chemical bonding held by upper secondary and tertiary students. **Research in Science & Technological Education**, v. 19, n. 2, p. 171-191, 2001.

COLL, R. K.; TREAGUST, D. Investigation of secondary school, undergraduate and graduate learner's mental of ionic bond. **Journal of Research and Science Teaching**, v. 40, n. 5, p. 464-486, 2003a.

COLL, R. K.; TREAGUST, D. Learners' mental models of metallic bonding: a cross-age study. **Science Education**, v. 87, n. 5, p. 685-707, 2003b.

COSTA BEBER, L. B.; MALDANER, O. A. Níveis de significação de conceitos e conteúdos escolares químicos no ensino médio: compreensões sobre ligações químicas. **Vidya**, v. 29, n. 2, p. 97-119, 2010.

DE POSADA, J. M. Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 2, p. 227-245, 1999.

DÍAZ, R. D. R. **Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de enlace químico en la Educación media vocacional a partir del concepto de densidad de carga**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas e Naturais) - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2011.

DUARTE, H. A. Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. **Química Nova na Escola**, Cadernos Temáticos, n. 4, p. 14-23, 2001.

DUARTE, S. U.; BADILLO, R. G.; MIRANDA, R. P.; TORRES, A. P. G. Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 23, p. 52-66, 2008.

ESPINOZA, R. J. **Historia de la Química enfocada en el Átomo y el Enlace**. Mérida: Smart Service C.A., 2004. 115 p.

FERNANDES, L. S; CAMPOS, A. F. A abordagem de ligação química numa perspectiva de ensino por situação-problema. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 3211-3215, 2013.

FERNANDES, L. S; CAMPOS, A. F. Pesquisas em periódicas nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 153-172, 2012.

FERNANDES, L. S; CAMPOS, A. F.; MARCELINO JÚNIOR, C. A. C. Concepções alternativas dos estudantes sobre ligação química. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 3, p. 19-27, 2010.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligações químicas. **Química Nova na Escola**, n. 24, p. 20-24, 2006.

FERREIRA, I. M.; CAMPOS, A. F.; FERNANDES, L. S. Concepções alternativas dos alunos sobre ligação metálica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 2403-2408, 2013.

FIRME, C. L. **Aplicações da Teoria de Átomos Em Moléculas e da Teoria do funcional da densidade em sistemas moleculares orgânicos**. 2007. 227 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. Estrutura atômica e formação de íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 275-282, 2009.

FRANCO, A. G.; RUIZ, A. G. Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 1, p. 111-124, 2006.

GARCÍA PÉREZ, F. F. Los modelos didácticos como instrumento de análisis y de intervención en la realidad educativa. **Revista Electrónica de la Universidad de Barcelona**, Barcelona, n. 207, 2000. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-207.htm>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. Avaliação dos estudantes sobre o uso de imagens como recurso auxiliar no ensino de conceitos químicos. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 1, p. 19-26, 2013.

GIBIN, G. B.; KIILL, 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, n. 2, p. 711-721, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; ELMER, R. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Org.), **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer, 2000, p. 3-17.

GOMES, H. J. P.; OLIVEIRA, O. B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Ciências & Cognição**, v. 12, p. 96-109, 2007.

GONSALVES, E. P. **Conversas sobre iniciação à pesquisa científica**. 5. ed. Campinas: Alínea, 2011. 104 p.

GONZÁLEZ, Á. S. **Caracterización del enlace químico en compuestos de boro, iluros y reacciones de aza- y arsa-Wittig: QTAIM y análisis ELF de la densidad electrónica**. 2007. 226 f. Tese (Doutorado em Ciências Químicas) – Universidade de Granada, Granada, 2007.

GUIMARÃES, G. M. A.; ECHEVERRÍA, A. R.; MORAES, I. J. Modelos didáticos no discurso de professores de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 3, p. 303-322, 2006.

GÜNTHER, H. Pesquisa Qualitativa Versus Pesquisa Quantitativa: Esta é a Questão? **Revista Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, n. 2, p. 201-210, 2006.

HAPKIEWICZ, A. Clarifying chemical bonding: overcoming our misconceptions. **The Science Teacher**, v. 58, n. 3, p. 24-27, 1991.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: logical or psicological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.

JOHNSTONE, A. H. The Development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.

KABAPINAR, F.; LEACH, J.; SCOTT, P. The design and evaluation of a teaching-learning. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 635-652, 2004.

KIILL, K. B. **Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico**. 2009. 278 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, S. S. Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. **Investigação em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 25-35, 2002.

KOZMA, R. B.; RUSSELL, J. Multimedia and understanding expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 9, p. 949-968. 1997.

LEACH, J.; AMETLLER, J.; HIND, A.; LEWIS, J. e SCOTT, P. Desining and evaluating short science teaching sequences: improving student learning. In: BORESMA, K. et al. (Eds.). **Research and Quality of Science Education**. Holanda: Spring, 2005, p. 209-220.

LIMA, A. A.; NÚÑEZ, I. B. A solubilidade dos compostos iônicos: como os licenciandos em química explicam o comportamento do cloreto de prata? **Ensaio**, v. 14, n. 1, p. 257-269, 2012.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: Editora EPU, 1986. 99 p.

MAAR, J. H. **História da Química: dos primórdios a Lavoisier**. 2. ed. Florianópolis: Conceito Editorial, 2008. 946 p.

MACHADO, A. H. **Aula de Química: discurso e conhecimento**. 3.ed. Ijuí: UNIJUÍ, 2014. 200 p.



MANZINI, E. J. A entrevista na pesquisa social. *Didática*, v. 26/27, p. 149-158, 1991.

MARTINS, I. O papel das representações visuais no ensino-aprendizagem de ciências. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências, I, 1997, Águas de Lindóia. *Anais... Águas de Lindóia: ABRAPEC*, 1997, p. 366-373.

MATUS, L. L.; BENARROCH, A. B.; NAPPA, N. La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 10, n. 1, p. 178-201, 2011.

MATUS, L. L.; BENARROCH, A. B.; PERALES, F. J. P. Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 26, n. 2, p. 153-176, 2008.

MÉHEUT, M. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research. In: BOERSNA, K.; GOEDHART, M.; JONG, O.; EIJKELHOF, H. (Org.). **Research and the quality of science education**. Springer Netherlands, 2005. p. 195-207.

MÉHEUT, M., PSILLOS, D. Teaching-learning sequences. Aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

MEIRIEU, P. **Aprender... Sim, mas como?** Tradução de Vanise Pereira Dresch. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 1998.

MELO, M. R. **Estrutura atômica e Ligações químicas** – uma abordagem para o Ensino Médio. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MENDONÇA, P. C. C. **'Ligando' as ideias dos alunos à Ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. 2008. 231 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte I. *Educación Química*, v. 20, p. 282-293, 2009a.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte II. *Educación Química*, v. 20, p. 373-382, 2009b.

MILARÉ, T. Ligações iônica e covalente: relações entre as concepções dos estudantes e dos livros de Ciências. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, VI, 2007, Florianópolis. *Anais... Florianópolis: Atas do VI ENPEC*, 2007.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Epistemologias do século XX**: Popper, Kuhn, Lakatos, Laudan, Bachelard, Toulmin, Feyerabend, Maturana, Bohm, Bunge, Prigogine, Mayr. São Paulo: E.P.U., 2011.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000. 383 p.

\_\_\_\_\_. Para além das fronteiras da Química: Relações entre Filosofia, Psicologia e Ensino de Química. **Química Nova**, v. 20, n. 2, p. 200-207, 1997.

\_\_\_\_\_. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de Química: mudança conceitual e perfil epistemológico. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 242-249, 1992.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química**: ensino médio. Volume 1. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2013. 320 p.

MORTIMER, E. F.; MOL, G.; DUARTE, L. P. Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: Dogma ou Ciência? **Química Nova**, v. 17, n. 2, p. 243-252, 1994.

NATURALISTIC EPISTEMOLOGY. In: The Internet Encyclopedia of Philosophy, ISSN 2161-0002. Disponível em: <http://www.iep.utm.edu/>. Acesso em: 12 dez. 2015.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 139-153, 2010.

PARIZ, E. **Ligação metálica**: uma proposta de material didático de apoio ao professor em sala de aula. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

PAULING, L. The Nature of the chemical bond. IV. The energy of single bonds and the relative electronegativity of atoms. **Journal of the American Chemical Society**, v. 54, n. 9, p. 3570-3582, 1932.

PASELK, R. A. Visualization of the abstract in general chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 3, p. 225, 1994.

PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; MARCONDES, M. E. R. Noções dos estudantes da 1ª série do ensino médio sobre estabilidade química. In: International Congress of Science Education, 2<sup>d</sup>, 2014, Foz do Iguaçu. **Journal of Science Education**, v. 15, Special Issue, p. 191-192, 2014.

PEME-ARANEGA, C.; DE LONGHI, A. L.; BAQUERO, M. E.; MELLADO, V.; RUIZ, C. Creencias explícitas e implícitas, sobre la ciencia y su enseñanza y aprendizaje, de

una profesora de química de secundaria. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, VII congreso, 2005.

PEME-ARANEGA, C., GERBAUDO, S., FERREYRA DE RUBIO, A.; ECHEVARRÍA, E. El proceso de elaboración de un Inventario de creencias didácticas y epistemológicas (ICDE). **Interdisciplinaria**, v. 15, n. 2 e 3, p. 1-37, 1999.

PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 369-386, 2002.

PETERSON, R. F.; TREAGUST, D. F. Grade-12 student's misconceptions of covalent bonding and structure. **Journal of Chemical Education**, v. 66, n. 6, p. 459-460, 1989.

PEREIRA, A. S. PIRES, D. X. Uma proposta teórica-experimental de sequência didática sobre interações intermoleculares no ensino de Química, utilizando variações do teste da adulteração da gasolina e corantes de Urucum. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 385-413, 2012.

PEREIRA, M. M.; SOARES, V.; ANDRADE, V. A. Escrita como ferramenta indicativa das possíveis contribuições de uma atividade investigativa sobre temperatura para a aprendizagem. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 3, p. 118-132, 2011.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

RAMOS, T. A.; SCARINCI, A. L. Análise de concepções de tempo e espaço entre estudantes do ensino médio, segundo a epistemologia de Gaston Bachelard. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 9-25, 2013.

RIBOLDI, L.; PLIEGO, Ó.; ODETTI, H. El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 22, n. 2, p. 195-212, 2004.

RIO GRANDE DO SUL. **Referenciais Curriculares do Estado do Rio Grande do Sul: Ciências da Natureza e suas tecnologias**. Secretaria de Estado da Educação. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <[http://www.educacao.rs.gov.br/dados/refer\\_curric\\_vol4.pdf](http://www.educacao.rs.gov.br/dados/refer_curric_vol4.pdf)>. Acesso em: 04 ago. 2015.

RODRIGUES, J. A. **Introdução às ligações químicas**. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 77 p.

RODRIGUES, S. B. V.; SILVA, D. C.; QUADROS, A. L. O ensino superior de Química: reflexões a partir de conceitos básicos para a Química Orgânica. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1840-1854, 2011.

SANGIOGO, F. A. **A elaboração conceitual sobre representações de partículas submicroscópicas em aulas de química da educação básica: aspectos pedagógicos e epistemológicos.** 2014. 291 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

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

SANTOS FILHO, P. F.; SALES, S. F. C. A influência da diferença de eletronegatividade na força de ligação covalente. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 04, n. 01, p. 09-14, 2009.

SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. (coords.). **Química cidadã: volume 1: ensino médio.** 2. ed. São Paulo: Editora AJS, 2013. 320 p.

SANTOS JR. J. B.; MARCONDES, M. E. R. Identificando os modelos didáticos de um grupo de professores de Química. **Revista Ensaio**, v. 12, n. 03, p. 101-116, 2010.

SCALCO, K. C.; CORDEIRO, M. R.; KIILL, K. B. Representações presentes nos livros didáticos: um estudo realizado para o conteúdo de ligação iônica a partir da semiótica peirceana. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 134-142, 2015.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico.** 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007. 307 p.

SILVA, C. F.; MARTINS, M. I. A iconicidade em livros didáticos de Física. In: Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XI, 2008, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

SILVA, E. L.; BEJARANO, N. R. R. As tendências das sequências didáticas de ensino desenvolvidas por professores em formação nas disciplinas de estágio supervisionado das Universidades Federal de Sergipe e Federal da Bahia. **Enseñanza de las Ciencias**, v. Especial, p. 1942-1948, 2013.

SILVA, G. S. **A abordagem do modelo atômico de Bohr através de atividades experimentais e de modelagem.** 2013. 216 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; BRAIBANTE, H. T. S.; PAZINATO, M. S.; TREVISAN, M. C. Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr. **Ciência & Educação**, v. 20, n. 2, p. 481-495, 2014.

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.

SILVA, J. R. **A utilização das analogias e metáforas como recurso didático na compreensão do conteúdo ligações químicas**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, J. R. R. T.; AMARAL, E. M. R. Proposta de um perfil conceitual para substância. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 53-72, 2013.

SILVA, L. A.; MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. Por que todos os nitratos são solúveis? **Química Nova**, v. 27, n. 6, p. 1016-1020, 2004.

SOLBES, J.; VILCHES, A. Análisis de la introducción de la teoría de enlaces e bandas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 53-58, 1991.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Formação de novas zonas do perfil epistemológico bachelardiano: alguns resultados de uma pesquisa baseada nas etapas da conscientização e familiarização. In: Fernando Bastos. (Org.). **Ensino de ciências e matemática III: contribuições da pesquisa acadêmica a partir de múltiplas perspectivas**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010, v. III, p. 169-191.

SUART JÚNIOR, J. B. A dialética do conhecimento científico, a prática e a experimentação: uma análise do ideário de licenciandos e sua relação com a epistemologia da Ciência Moderna. 2010. 228 f. **Dissertação** (Mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

SUBRAMANIAN, N.; FILHO, A. V. M.; SALDANHA, T. C. B. Tópicos em ligação química II – sobre o mérito da regra do octeto. **Química Nova**, v. 12, n. 3, p. 285-291 1989.

TAAGEPERA, M.; ARASASINGHAM, R.; POTTER, F.; SOROUDI, A.; LAM, G. Following the development of the bonding concept using Knowledge Space Theory. **Journal of Chemical Education**, v. 79, n. 6, p. 756-762, 2002.

TABER, K. S. Trainee Science Teachers' Conceptions of Chemical Stability. In: Symposium Issues in Science Teacher Education, British Educational Research Association Annual Conference, Cardiff University, 2000. **Anais Eletrônicos...** Cardiff: Cardiff University. Disponível em: <<http://www.leeds.ac.uk/educol/>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

TAN, K. C. D.; TREAGUST, D. F. Evaluating students' understanding of chemical bonding. **School Science Review**, v. 81, n. 294, p. 75-83, 1999.

TOMA, H. E. **Estrutura atômica, ligações e estereoquímica**. São Paulo: Blucher, 2013.

TOMA, H. E. Ligação química: Abordagem Clássica ou Quântica? **Química Nova na Escola**, n. 6, p. 8- 12, 1997.

TRINDADE, J. O.; HARTWIG, D. R. Uso combinado de mapas conceituais e estratégias diversificadas de ensino: uma análise inicial das ligações químicas. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 2, p. 83-91, 2012.

URBINA, S. D.; GALLEGO, R. B.; PÉREZ, R. M.; GALLEGO, A. P. T. Una construcción histórico-epistemológica del modelo del octeto para el enlace químico. **Tecné, Episteme y Didaxis**, n. 23, p. 52-66, 2008.

WARTHA, E. J.; ALVES, L. C.; SÁ, L. P.; SANJUAN, M. E. C.; SANTOS, C. V. Uma proposta didática para a elaboração do pensamento químico sobre elemento químico, átomos, moléculas e substâncias. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 7-20, 2010.

WARTHA, E. J.; GUZZI FILHO, N. J.; DE JESUS, R. M. O experimento da gota salina e os níveis de representação em química. **Educación Química**, p. 55-61, v. 23, n. 1, 2012.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L.; BEJARANO, N. R. R. Cotidiano e contextualização no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 84-91, 2013.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução de Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

## APÊNDICE A - INSTRUMENTO INVESTIGATIVO



Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde



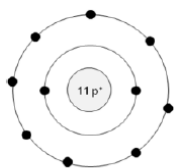
Nome: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_

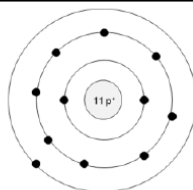
Escola: \_\_\_\_\_

Considere a representação das três espécies químicas:

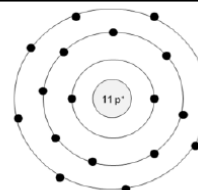
**A: Na<sup>+</sup>**  
(Cátion do átomo de sódio)



**B: Na**  
(Átomo de sódio)



**C: Na<sup>-</sup>**  
(Ânion do átomo de sódio)



1) Assinale a afirmativa correta:

- A é mais estável que B.
- A e B são igualmente estáveis.
- A é menos estável que B.
- Eu não sei qual afirmação é correta.

Explique as razões de sua escolha:

---



---



---

2) Assinale a afirmativa correta:

- B é mais estável que C.
- B e C são igualmente estáveis.
- B é menos estável que C.
- Eu não sei qual afirmação é correta.

---



---



---

3) Assinale a afirmativa correta:

- C é mais estável que A.
- C e A são igualmente estáveis.
- C é menos estável que A.
- Eu não sei qual afirmação é correta.

---



---



---

4) Denomine o tipo de ligação predominante em cada uma das substâncias do quadro abaixo. Após, represente dez unidades estruturais de cada uma dessas substâncias nas condições ambientais.

I. $KCl$	II. $N_2$
III. $HCl$	IV. $Ca$

5) Avalie as seguintes afirmações em verdadeira (V) ou falsa (F) e justifique sua escolha.

- ( ) A natureza das ligações: iônica, metálica e covalente é eletrostática.
- ( ) O cloreto de sódio ( $NaCl$ ) existe como uma molécula.
- ( ) O elemento X (configuração eletrônica 2,8,18,8,2) e o elemento Y (configuração eletrônica 2,7) reagem para formar o composto iônico,  $XY_2$ .
- ( ) Nenhum composto covalente conduz eletricidade, seja sólido, fundido ou dissolvido.
- ( ) Nos compostos  $PCl_3$  e  $PCl_5$ , o átomo de fósforo possui 8 elétrons em sua camada de valência, o que garante sua estabilidade.

## APÊNDICE B - ROTEIRO DAS ENTREVISTAS COM OS PROFESSORES

### - Roteiro da entrevista semiestruturada com professores do ensino médio

#### *Informações pessoais:*

- Em qual (is) escola (s) atua?
- Há quantos anos atua?
- Formação e Titulação:

1. Sobre o conteúdo de ligações químicas, você considera importante ensiná-lo no ensino médio? Por quê?
2. Dentre os conteúdos de Química ensinados anteriormente ao conteúdo de ligações químicas, quais você considera imprescindível para a aprendizagem das ligações?
3. Em relação à estrutura da matéria:
  - a) Qual o modelo de átomo você mais utiliza em suas aulas?
  - b) Você acredita que seus alunos têm uma ideia clara sobre a descontinuidade da matéria?
4. Em relação às ligações químicas:
  - a) Quais conceitos você acha importante ensinar?
  - b) Quais conceitos você geralmente ensina na 1ª série do ensino médio?
5. Em relação às aulas de ligações químicas:
  - a) Você utiliza algum material didático para o preparo das aulas e durante as aulas?
  - b) Qual livro do PNL 2015 você adotou?
  - c) Quais estratégias ou metodologias você costuma utilizar?
  - d) Quais estratégias ou metodologias, você gostaria de utilizar e por que não as utiliza?
6. Em sua opinião, quais as dificuldades mais frequentes que os estudantes apresentam durante o estudo das ligações químicas?

### - Questionário aplicado aos professores universitários

Este questionário faz parte de uma pesquisa de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde – UFSM. O objetivo desta pesquisa é investigar a abordagem e aprendizagem das ligações químicas no ensino médio. A sua participação como docente do ensino superior, expondo suas expectativas em relação ao conhecimento do tema por parte dos ingressantes, será valiosa para o nosso trabalho. A sua identidade será mantida em anonimato e as informações coletadas serão utilizadas apenas para fins acadêmicos.

#### **Informações pessoais:**

- Formação:
- Titulação e área:
- Em qual (is) curso (s) atua?
- Qual (is) disciplina (s) ministra?
- Há quantos anos atua?

1. Sobre o conteúdo de ligações químicas, você considera importante ensiná-lo em suas disciplinas? Por quê?
2. Em relação aos ingressantes dos cursos que você atua:
  - a) Como está o nível de conhecimento em relação ao conteúdo de ligações químicas? Explique.
  - b) Quais os conceitos relacionados às ligações químicas que os ingressantes apresentam maiores dificuldades?
3. Enquanto professor universitário, quais conceitos sobre ligações químicas você espera que os ingressantes possuam?



## APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO A

Este questionário tem como propósito conhecer o perfil e algumas ideias dos participantes da pesquisa sobre o tópico ligação química. Leia atentamente as questões abaixo e responda-as nos espaços indicados. As suas respostas serão mantidas em anonimato e só serão utilizadas para fins acadêmicos.

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Escola: \_\_\_\_\_

Turma: \_\_\_\_\_

1) Em relação a sua vida escolar, você já reprovou em alguma série? Caso sim, qual e por quê?

---

---

2) Sobre a Química e seus conteúdos:

a) Você acha importante estudar Química? Por quê?

---

---

---

---

b) Dentre os conteúdos de Química que você já estudou (neste e em outros anos) qual você considera o mais importante? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

3) Um dos conteúdos que você vai estudar neste ano é o de ligações químicas. Você já estudou este conteúdo no ensino fundamental? Você considera importante estudá-lo? Por quê?

---

---

---

---

4) Pense nos sentidos das palavras “ligação” e “química”. Escreva, no quadro abaixo, palavras que você lembrou e que estejam relacionadas com as ligações químicas.

--

5) Construa uma frase com as palavras que você lembrou.

---

---

---

---

6) A seguir estão elencados alguns conceitos, assinale os conceitos que você consegue associar às ligações químicas:

- átomos       eletronegatividade       energia       força       moléculas  
 retículo cristalino       íons       metal       energia de ionização       orbital atômico  
 cargas       não metal       modelo       estabilidade       fórmula       solubilidade  
 ponto de fusão       orbital molecular       afinidade eletrônica       gases nobres       raio atômico

7) Utilizando os conceitos que você assinalou, construa uma frase relacionando-os com as ligações químicas.

---



---



---



---

8) Vamos pensar sobre os três tipos de ligações químicas interatômicas que estudaremos. A seguir está representado um quadro que pode lhe auxiliar a lembrar sobre o assunto.

Na primeira coluna preencha com o nome do tipo de ligação que você lembrou. Nas colunas seguintes explique como você acredita que ela ocorre e tente representá-la explicando o seu desenho.

Tipos de ligações	Como ela acontece	Represente (desenhe a ligação) e explique
<p>-----</p> <p>(nome do tipo de ligação que lembrou primeiro)</p>		
<p>-----</p> <p>(nome do tipo de ligação que lembrou por segundo)</p>		
<p>-----</p> <p>(nome do tipo de ligação que lembrou por último)</p>		

## APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO B

Nome:

Turma:

Os átomos e íons se unem através de ligações químicas, que será o conteúdo que enfocaremos a nossa atenção nas próximas aulas.

1) Considerando a tabela periódica, os gases nobres são os únicos elementos que podem ser encontrados isolados na natureza. Entretanto, até mesmo os átomos destes elementos podem realizar ligações químicas. Com esta afirmação, podemos concluir que praticamente todos os átomos são encontrados na natureza unidos a outros átomos ou a átomos iguais a ele. Em sua opinião, quais são os motivos dos átomos se ligarem?

---

---

---

---

---

2) Para você, o que significa estabilidade química?

---

---

---

---

3) Você acha que existe relação entre energia e ligação química? Explique.

---

---

---

---

4) Você acha que existe relação entre energia e estabilidade química? Explique.

---

---

---

---

---

## APÊNDICE E - ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL “ENERGIA ENVOLVIDA NA FORMAÇÃO E ROMPIMENTO DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS”

Começaremos o estudo sobre as ligações químicas. Para isso, voltaremos a nossa questão problema “Por que ocorre a formação de uma ligação química?”.

É interessante pensarmos que as transformações químicas envolvem a formação e o rompimento de ligações químicas, que são acompanhadas por uma variação de energia. Nestas atividades, você e seu grupo terão a oportunidade de investigar sobre este processo. Lembre-se de buscar indícios que os auxiliem a responder a questão problema.

### Materiais e reagentes:

Tubos de ensaio; termômetro; soluções de ácido clorídrico (HCl) 1 M e hidróxido de sódio (NaOH) 1 M; 200 mg do sal cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ); água.

### Procedimento:

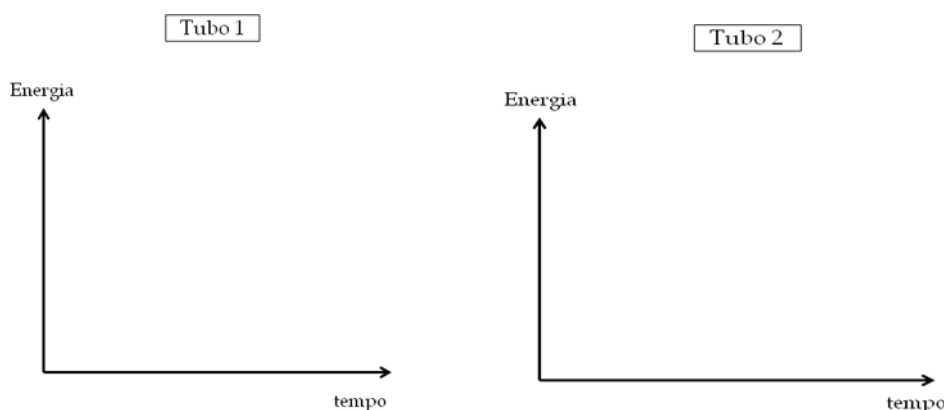
**Tubo de ensaio 1** - Adicione em um tubo de ensaio aproximadamente 1 mL de HCl 1 M. Com o auxílio do termômetro meça a temperatura da solução e anote-a. Após, adicione a mesma quantidade de NaOH 1 M e meça novamente a temperatura.

**Tubo de ensaio 2** - Adicione em um tubo de ensaio aproximadamente 2 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  e meça a temperatura. A seguir, acrescente ao tubo de ensaio 200 mg do sal  $\text{NH}_4\text{Cl}$  e anote a temperatura final.

Tubo	Temperatura inicial	Temperatura final
1		
2		

### Questões:

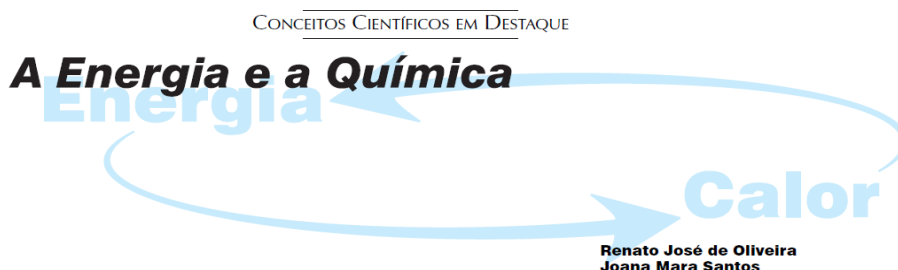
- 1- O que vocês observaram nos tubos 1 e 2?
- 2- Explique em termos energéticos, o que ocorreu no tubo 1 e 2?
- 3- Como vocês associam suas observações com a formação e ruptura das ligações químicas?
- 4- Considerando os tubos 1 e 2, em qual deles a situação final consiste em uma condição mais favorável energeticamente?
- 5- Considere os seguintes gráficos que relacionam a energia e as situações observadas em cada tubo, faça um diagrama que represente a situação inicial e final.



- 6- Como vocês associam a estabilidade química com as ligações químicas?

## APÊNDICE F – TEXTOS DISPONIBILIZADOS AOS ESTUDANTES

Texto 1 – O artigo “A Energia e a Química”, da revista Química Nova na Escola, pode auxiliar no seu entendimento sobre a utilização do conceito de energia nas ligações químicas, bem como na Química. A seguir alguns trechos deste artigo.



### Associando química e energia

Com o primeiro princípio da termodinâmica, o termo energia passou a ser bastante utilizado no vocabulário científico. Diz-se, sem maiores problemas, que a corda de um arco — quando esticada — armazena energia potencial elástica, que é convertida na energia cinética do movimento descrito pela flecha. Dentre muitas outras transformações energéticas de amplo domínio, destaca-se a produção de energia elétrica a partir das quedas d’água: a energia potencial da água é transformada em energia cinética e esta é convertida em energia elétrica. Não há dúvida de que o princípio de conservação de energia é um modelo explicativo bem-sucedido, mas é preciso ter cuidado com alguns de seus usos, como acontece quando se fala na conversão da chamada energia química em outras formas de energia e vice versa.

Marcelo Gleiser (1997, p. 217), por exemplo, afirma que: “A quantidade total de energia deve ser a mesma, antes e depois: a energia química armazenada no óleo da lamparina é igual à energia usada para aquecer o ar à sua volta e no interior do cilindro mais a energia potencial gravitacional do pistão na posição elevada”.

Na verdade, o que é convertido em calor (energia térmica) e em trabalho mecânico não é a energia química armazenada no óleo e sim o saldo energético do processo de queima. Na reação de combustão, dentre os diversos fatores que contribuem para a produção de energia, os mais significativos são os referentes à quebra e à formação de ligações químicas intra e intermoleculares: o processo de quebra das ligações da(s) substância(s) combustível(eis) e do comburente é endotérmico, enquanto o processo de formação de novas ligações nos produtos é exotérmico. A energia térmica resultante (a energia liberada é maior que a absorvida) da combustão — e não simplesmente a energia química contida no óleo — é que permite aquecer o ar, mover o pistão etc. Alguns livros de nível universitário buscam explicar como as substâncias armazenam energia. Eles referem-se à energia química como sendo a energia potencial que as substâncias possuem devido às atrações e repulsões entre suas partículas subatômicas. Tais conteúdos energéticos podem ser alterados por meio de reações químicas: “quando as substâncias reagem, ocorrem mudanças na natureza das atrações (ligações químicas) entre seus átomos, portanto há mudanças na energia química (energia potencial) que observamos sob a forma de energia liberada ou absorvida no curso da reação”.

#### Referências bibliográficas

BACHELARD, Gaston. *Études*. Paris: J. Vrin, 1970.

\_\_\_\_\_. *A formação do espírito científico*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACON, Francis. *Novo organon*. In: Bacon, coleção Os Pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1973.

DENIAL, M.J., DAVIES, L., LOCKE, A.W., REAVY, M.E. *Investigating chemistry*. 2. ed. Londres: Heineman Educational Books, 1985.

GLEISER, Marcelo. *A dança do universo: dos mitos de criação ao Big Bang*. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

KOTZ, John C. e TREICHEL, Paul Jr. *Chemistry & chemical reactivity*. 3. ed., EUA: Saunders College Publishing, 1995.

MORTIMER, Eduardo F. e AMARAL, Luiz Otávio F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 30-34, mai. 1998.

PAPP, Desiderio e PRELAT, Carlos. E. *Historia de los principios fundamentales de la química*. Buenos Aires: Espasa, 1950.

#### Livros didáticos citados

BRADY, James E. *General chemistry: principles and structure*. 5. ed. Nova York: John Wiley & Sons, 1990.

FELTRE, Ricardo. *Fundamentos da química*. 2. ed., São Paulo: Moderna, 1996.

NABUCCO, João R. da Paciência e BARRROS, Roberto Viseu de. *Fisico-química*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1989.

NOVAIS, Vera L. Duarte de. *Fisico-química*. São Paulo: Atual, 1982.

#### Para saber mais

ROSMORDUC, Jean. *Uma história da física e da química: de Tales a Einstein*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1988.

Esse livro é uma importante fonte de consulta para quem deseja conhecer com mais detalhes a história da termodinâmica.

Texto 2 – O artigo “Processos Endotérmicos e Exotérmicos: Uma visão atômico-molecular”, da revista Química Nova na Escola, pode auxiliar no seu entendimento sobre a energia envolvida no processo de formação e ruptura de ligações químicas. A seguir alguns trechos deste artigo.



No estudo de Termoquímica, é comum os estudantes apresentarem dificuldades recorrentes como aquelas relacionadas às variações de temperatura em processos endotérmicos e exotérmicos ou outras ligadas às energias cinética e potencial das partículas – esta particularmente misteriosa! –, pois, por exemplo, é frequente a seguinte pergunta: *Por que, em processos endotérmicos, como na dissolução de determinado composto, nota-se uma diminuição na temperatura da solução? Afinal, se há absorção de energia, a temperatura deveria aumentar!*

A *energia interna* de um sistema é a soma de todas as formas de energia que o sistema possui. Para a maioria dos propósitos da química, os componentes significativos da energia interna são aqueles que podem alterar-se no decurso de uma reação química – quais sejam: (I) as energias associadas à translação, rotação e vibração das partículas (ou de outras unidades estruturais capazes desses movimentos); e (II) a energia eletrônica, que é a energia associada às várias interações, intramoleculares e intermoleculares, que existem entre núcleos e elétrons (Dasent, 1982). A soma dos componentes agrupados em (I) corresponde à *energia cinética* das partículas constituintes do sistema, e a soma dos componentes agrupados em (II), à sua *energia potencial*.

*Energia cinética* é a energia associada ao *movimento*. Quanto maior ela for, tanto maior a velocidade de translação e/ou a velocidade de rotação e/ou a frequência de vibração das partículas.

A percepção da *energia potencial* é mais difícil do que a da cinética. No nível molecular, como exposto acima, a *energia potencial* de um sistema está associada às *interações* entre núcleos e elétrons e relaciona-se à posição das partículas. Ela só se mostra evidente quando se transforma em trabalho ou em outras formas de energia como mostraremos mais adiante.

Consideremos exemplos de variação de energia potencial em alguns processos como a sublimação de um cristal de cloreto de sódio. A energia de interação entre os íons sódio e cloreto, que possuem cargas opostas, é basicamente energia potencial eletrostática e tem um valor negativo. Transferindo-se energia ao sistema como calor, os íons podem ser separados até o infinito, situação em que a sua energia potencial torna-se igual a zero. Portanto, para *romper as ligações iônicas* no cloreto de sódio, há *aumento* na energia potencial do sistema, a qual passa de um valor negativo a zero. Na verdade, na ruptura de qualquer ligação química ou de interação intermolecular, o sistema absorve energia e há aumento de sua energia potencial.

Processo análogo ao que acabamos de descrever, envolvendo basicamente energia potencial eletrostática, ocorre quando um elétron é removido de um átomo gasoso, levando à formação de um íon positivo. Nesse processo de ionização, há aumento da energia potencial do sistema.

Por outro lado, a energia potencial de um sistema, constituído por moléculas de água gasosa, diminui quando, ao condensarem-se, formando água líquida, aumenta o número de ligações de hidrogênio entre essas moléculas. Na *formação* de qualquer ligação química ou de interação intermolecular, o *sistema libera energia* e há *diminuição* de sua energia potencial.

#### Dissolução endotérmica e dissolução exotérmica

Consideremos o seguinte experimento – dissolução de sulfato de potássio em um béquer contendo água –, realizado em condições diatérmicas, ou seja, em que é possível a troca de calor entre sistema e vizinhança. O sistema, no início, é constituído pela água pura,  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ , e pelo sulfato de potássio,  $\text{K}_2\text{SO}_4(\text{s})$ , ambos à temperatura ambiente. Depois da rápida dissolução do sal, o sistema passa a ser a solução resultante de sulfato de potássio.

Nota-se, nos *instantes iniciais* do experimento, uma diminuição da temperatura do sistema, que deve ser atribuída a uma diminuição da energia cinética média de suas partículas constituintes. Como a energia total deve ser conservada, pode-se afirmar que há aumento da energia potencial do sistema.

A variação da energia potencial pode ser entendida analisando-se as mudanças nas ligações químicas e interações intermoleculares no sistema. A dissolução envolve dois processos endotérmicos e um exotérmico. Os dois endotérmicos são as rupturas, pelo menos parciais, das ligações iônicas no sulfato de potássio sólido e das ligações de hidrogênio na água líquida. O processo exotérmico é a formação das interações íon-dipolo no sulfato de potássio aquoso, uma vez que tanto os íons potássio –  $K^+$  – quanto os íons sulfato –  $SO_4^{2-}$  – interagem com as moléculas polares da água, sendo solvatados por elas. Originam-se espécies hidratadas, que podem ser representadas, respectivamente, por  $K^+(aq)$  e por  $SO_4^{2-}(aq)$ . Como indicado no parágrafo anterior, resulta que a soma das variações de energia potencial desses três processos deve mostrar que a energia potencial total do sistema aumenta, uma vez que a diminuição da temperatura só pode ser atribuída a uma diminuição da energia cinética média das partículas.

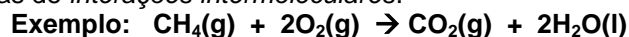
Pode-se concluir que o balanço energético no final do experimento mostra uma *absorção de energia, na forma de calor, pelo sistema* e a dissolução do sal é dita *endotérmica*.

Abordaremos outro experimento – a dissolução, em água, do hidróxido de sódio,  $NaOH(s)$ , em que a temperatura do sistema aumenta inicialmente. Como no exemplo anterior, há rupturas de ligações iônicas e de ligações de hidrogênio e formação de interações íon-dipolo. Entretanto, na dissolução do hidróxido de sódio, a soma das variações de energia potencial deve indicar que a energia potencial total diminui, já que o aumento inicial da temperatura evidencia aumento da energia cinética. Assim, pode-se concluir que, nessa dissolução, parte da *energia potencial* transforma-se em *energia cinética*.

O balanço energético no final do experimento mostra uma *liberação de energia, na forma de calor, pelo sistema*. A dissolução do hidróxido de sódio é, portanto, *exotérmica*.

#### Uma reação química exotérmica

A interpretação atômico-molecular da variação da energia interna em *transformações químicas* não é diferente daquela apresentada nos exemplos anteriores, exceto pelo fato de que, nas reações químicas, ao formarem-se novas substâncias, há sempre ruptura e/ou formação de *ligações químicas* e não apenas de *interações intermoleculares*.



Nessa reação, são rompidas as 4 ligações simples C–H no metano, bem como as ligações duplas O=O nas 2 moléculas de oxigênio e, para que isso ocorra, há absorção de energia. Paralelamente, formam-se 2 ligações duplas C=O no dióxido de carbono e 4 ligações simples O–H nas 2 moléculas de água, processos em que há liberação de energia. Nesse caso, pode-se afirmar, com segurança, que, em módulo, a energia liberada é maior do que a absorvida, pois todas as combustões são exotérmicas. A energia liberada nessas reações pode ser aproveitada para aquecimento ou para a realização de trabalho como, por exemplo, movimentar um veículo.

Nas reações químicas endotérmicas, em módulo, a energia absorvida para a ruptura de ligações é maior do que a liberada na formação de outras ligações. Em quaisquer casos, como explicado anteriormente, variações permanentes na temperatura do sistema dependem das condições em que as reações são efetuadas – se em recipientes com paredes diatérmicas ou adiabáticas.

#### Referências

CASTELLAN, G. *Fundamentos de físico-química*. Trad. C.M.P. Santos e R.B. Faria. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

DASENT, W.E. *Inorganic energetics*. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

LIMA, M.E.C.C.; DAVID, M.A. e MAGALHÃES, W.F. Ensinar ciências por investigação: um desafio para os formadores. *Química Nova na Escola*, n. 29, p. 24-29. 2008.

SILVA, J.L.P.B. Por que não estudar entalpia no Ensino Médio. *Química Nova*

*na Escola*, n. 22, p. 22-25, 2005.

#### Para saber mais

ATKINS, P.W. *Concepts in physical chemistry*. Oxford: Oxford, 1995.

BARROS, H.L.C. *Química inorgânica – uma introdução*. Belo Horizonte, 2002.

MORTIMER E.F. e AMARAL, L.O.F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 30-34, 1998.

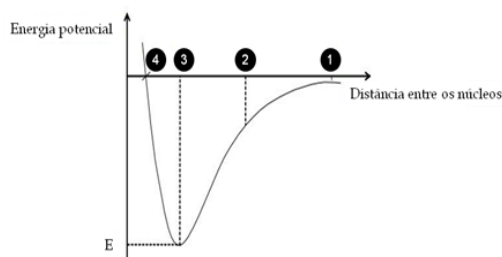
OLIVEIRA, M.J. e SANTOS, J.M. A energia e a Química. *Química Nova na Escola*, n. 8, p. 19-22, 1998.

## APÊNDICE G - QUESTIONÁRIO C

Nome:

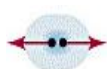
Turma:

1) A formação de uma ligação química pode ser interpretada através do gráfico da energia potencial versus a distância entre os núcleos dos átomos.

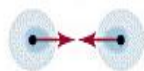


Relacione as situações representadas no gráfico (1, 2, 3 e 4) com as posições dos átomos apresentados em a, b, c e d. Justifique sua escolha.

a) repulsão entre os átomos



b) começa acontecer uma atração entre os átomos



c) átomos isolados



d) atração máxima, formação da ligação química



2) Em uma atividade experimental de laboratório, você observou duas situações:

I- Após a mistura dos reagentes, o tubo de ensaio aqueceu.

II- Após a mistura dos reagentes, o tubo de ensaio esfriou.

Relacione estas situações com seus possíveis procedimentos:

( ) Adição de um ácido (HCl) em uma base (NaOH) para a formação das ligações químicas da molécula de água.

Explique sua escolha: \_\_\_\_\_

( ) A dissolução de um sal ( $\text{KNO}_3$ ) em água, resultando no rompimento das ligações químicas do retículo cristalino.

Explique sua escolha: \_\_\_\_\_

3) Explique o que é estabilidade química?

4) Na sua opinião, por que os átomos realizam ligações químicas?



## APÊNDICE H - QUESTIONÁRIO D

Nome:

Turma:

O primeiro dos três tipos de ligações interatômicas que estudaremos é a ligação iônica. Como o próprio nome sugere, esta ligação ocorre entre íons (espécies carregadas pela perda ou ganho de elétrons). Leia com atenção e responda as seguintes questões sobre a ligação iônica.

1) Dados os seguintes pares de elementos químicos: sódio ( ${}_{11}\text{Na}$ ) e cloro ( ${}_{17}\text{Cl}$ ).

a) Qual destes elementos tem tendência de formar cátion (íon carregado positivamente)? Represente este íon e explique no que você se baseou para tomar esta decisão.

---



---



---

b) Qual destes elementos tem tendência de formar ânion (íon carregado negativamente)? Represente este íon e explique no que você se baseou para tomar esta decisão.

---



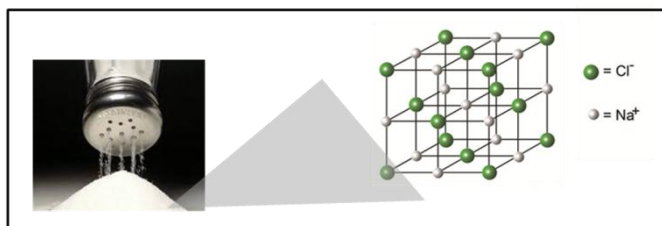
---



---

2) Quando formados os íons, ocorre uma atração entre eles que denominamos de ligação iônica. Represente no espaço abaixo como você imagina que ocorre esta ligação.

3) Na Figura abaixo está representado o sal de cozinha. Se pudéssemos ver sub microscopicamente, os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , nos grãos do sal de cozinha, estariam dispostos em retículos cristalinos. Observe:



Analisando a figura:

a) O sal de cozinha está estável? Justifique.

---



---

b) Observando a figura, o que você entende por retículo cristalino?

---



---

**APÊNDICE I - EXERCÍCIO REFERENTE À FORMAÇÃO DE ÍONS**

Observe os valores para as energias de ionização e afinidade eletrônica, em KJ/mol, dos átomos de sódio e cloro:

Energia de ionização	Na	Cl
1 <sup>a</sup>	496	1256
2 <sup>a</sup>	4563	2300
3 <sup>a</sup>	6913	3820

Afinidade eletrônica	Na	Cl
1 <sup>a</sup>	-53	-348

- a) Interpretando os valores dessas duas propriedades, proponha qual é o íon mais provável formado a partir dos átomos de sódio e cloro. Justifique sua resposta.
- b) Represente os íons formados (núcleo com prótons e eletrosfera com elétrons).

## APÊNDICE J - TESTE DO MODELO CONSTRUÍDO PARA O CLORETO DE SÓDIO A PARTIR DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Observe os dados da tabela a seguir para o cloreto de sódio e do cloreto de hidrogênio:

	Cloreto de sódio	Cloreto de hidrogênio
Ponto de fusão	808°C	-114,8°C
Estado físico a temperatura ambiente	Sólido	Gasoso

- a) Represente a estrutura dos compostos da tabela.
- b) Você consegue através das estruturas desenhadas, identificar o que pode ser responsável pelas diferenças das propriedades físicas dos compostos? Justifique.

**APÊNDICE K - ENERGIA LIBERADA NA FORMAÇÃO DE UMA LIGAÇÃO NO HCl E NaCl E ENERGIA LIBERADA NA FORMAÇÃO DA SUBSTÂNCIA CLORETO DE SÓDIO SÓLIDO**

	Cloreto de sódio	Cloreto de hidrogênio
Energia liberada na formação de uma ligação	493,7 KJ/mol	430 KJ/mol

No entanto, dados experimentais nos informam que a quantidade de energia liberada na formação da substância cloreto de sódio é 861,9 KJ/mol e não apenas 493,7 KJ/mol, que corresponde à ligação de um  $\text{Na}^+$  e de um  $\text{Cl}^-$  (conforme o modelo da tabela). Isto sugere que os íons estão organizados de outra forma mais estável.

a) Com o modelo proposto anteriormente, você conseguiria explicar o elevado ponto de fusão do cloreto de sódio? O motivo pelo qual ele é sólido a temperatura ambiente? E a quantidade de energia liberada em sua formação? Justifique suas respostas.

b) Caso o modelo proposto anteriormente não seja capaz de explicar essas características, proponha um novo modelo explicando cada etapa de sua elaboração.

## APÊNDICE L - TEXTO SOBRE RETÍCULO CRISTALINO<sup>13</sup>

A ligação iônica consiste em uma atração de íons com cargas opostas.

Conforme percebemos pelas evidências experimentais relacionadas às energias de ligação, no caso do cloreto de sódio é muito provável que tenhamos mais de uma atração entre os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ .

Na formação da substância cloreto de sódio, cada íon  $\text{Na}^+$  atrai mais de um íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e o contrário também é verdadeiro, ou seja, cada íon  $\text{Cl}^-$  atrai mais de um íon  $\text{Na}^+$ . Estas interações eletrostáticas entre os cátions e ânions no cloreto de sódio resultam na formação do retículo cristalino.

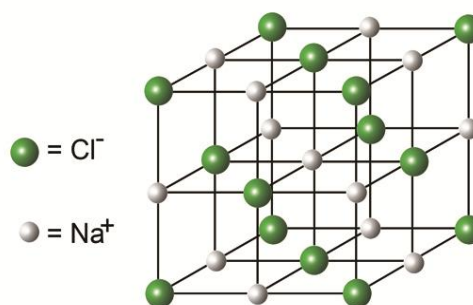


Figura – Representação do retículo cristalino

No caso do cloreto de sódio, sua fórmula mínima é  $\text{NaCl}$ , que indica a proporção em que os elementos se combinam. Não é correto representar a fórmula estrutural do  $\text{NaCl}$  colocando um traço entre o “sódio” e o “cloro”, uma vez que no cristal cada íon sódio está ligado a outros seis cloreto e cada íon cloreto está ligado a seis íons sódio.

Assim, o traço representado no retículo cristalino (Figura) não indica que um par de elétrons está sendo compartilhado, indica apenas que há uma atração eletrostática entre os íons.

<sup>13</sup> Texto elaborado a partir das seguintes fontes:

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química: ensino médio**. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2014.

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

## APÊNDICE M - EXERCÍCIO PARA O ESTUDO DA ENERGIA RETICULAR

Agora que já sabemos que ocorre mais de uma ligação entre os íons no cloreto de sódio, formando o retículo cristalino, vamos entender o que mais pode influenciar na energia reticular em uma ligação iônica.

1) Observe a energia reticular para os seguintes sais formados com o ânion cloreto:

	Cloreto de sódio	Cloreto de lítio	Cloreto de cálcio
Energia reticular	-787, KJ/mol	-845 KJ/mol	-2258 KJ/mol

a) Determine a fórmula unitária de cada composto.

b) Proponha um modelo que represente cada um dos retículos cristalinos.

2) Observando os modelos feitos anteriormente e os valores das energias reticulares, responda:

a) Comparando o cloreto de sódio e cloreto do lítio, qual a diferença entre eles que justificaria a maior energia reticular do cloreto de lítio?

b) Comparando o cloreto de sódio e cloreto de cálcio, qual a diferença entre eles que justificaria a maior energia reticular do cloreto de cálcio?

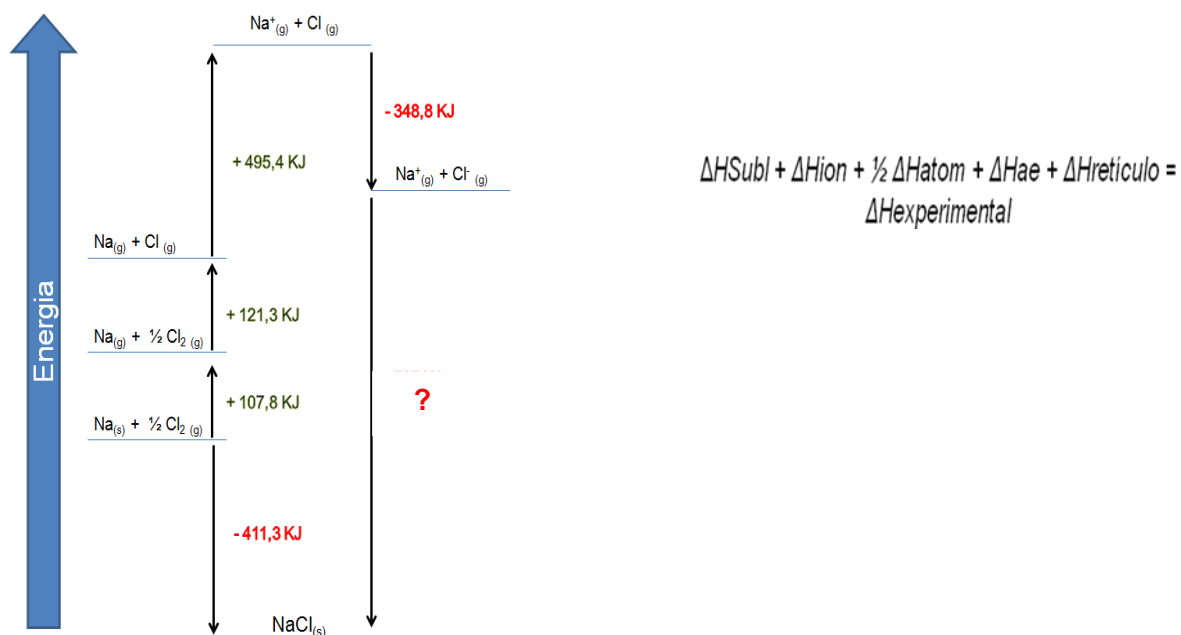
3) A partir das observações anteriores, você pode dizer quais os fatores que afetam a energia de um retículo cristalino?

## APÊNDICE N - MATERIAL CORRESPONDENTE AO CICLO DE BORN-HABER E AS PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS IÔNICAS

### Cálculo da Energia reticular

Uma das maneiras de sabermos a energia liberada na formação dos retículos cristalinos é através do ciclo Born-Haber, que recebeu este nome em homenagem aos cientistas que foram os primeiros a calcular as energias reticulares.

É importante sabermos que a formação do cloreto de sódio a partir do  $\text{Na(s)}$  e  $\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g})$  envolve várias etapas e que a variação de energia é independente do processo (caminho) que vai do estado inicial até o final.



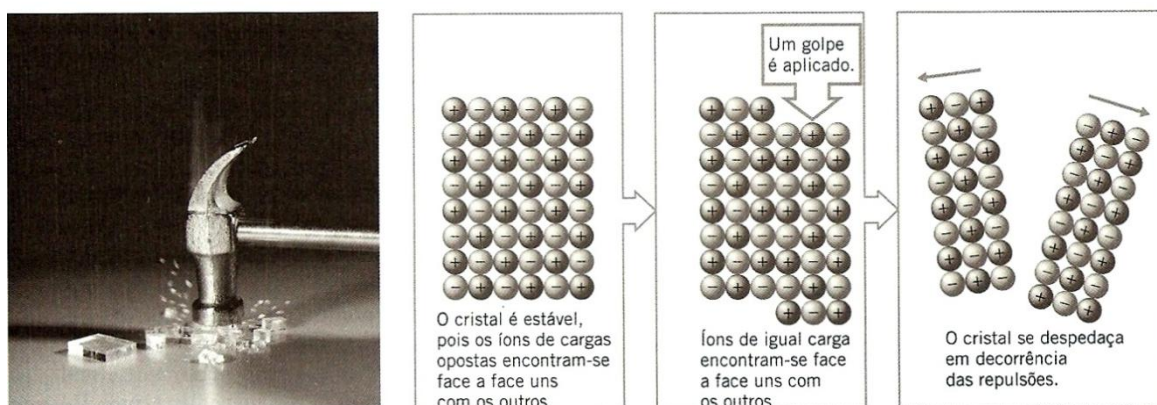
Etapas	Equação	Energia
1. Energia de sublimação	$\text{Na(s)} \rightarrow \text{Na(g)}$	$\Delta H_{\text{Subl}} = +107,8 \text{ kJ}$
2. Energia de dissociação	$\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cl(g)}$	$\frac{1}{2} \Delta H_{\text{diss}} = 121,3 \text{ kJ}$
3. Energia de ionização	$\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}^-$	$\Delta H_{\text{ion}} = 495,4 \text{ kJ}$
4. Afinidade eletrônica	$\text{Cl(g)} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$	$\Delta H_{\text{ae}} = 348,8 \text{ kJ}$
5. Formação do retículo	$\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	$\Delta H_{\text{reticulo}} = x$
Processo global	$\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	$\Delta H_{\text{experimental}} = -411,3 \text{ kJ}$

- Observando as etapas do ciclo de Born-Haber, qual é a responsável pela estabilização do composto cloreto de sódio?

## Propriedades das substâncias iônicas<sup>14</sup>

A atração entre íons, na ligação iônica, resulta na formação de retículos cristalinos. Este arranjo dos íons na forma de rede tem como consequência a formação de substâncias sólidas a temperatura ambiente.

- Elevadas temperaturas de fusão e ebulição. Esta propriedade é consequência direta do grande número de interações que ocorrem no retículo cristalino;
- São quebradiços, consequência da repulsão entre os íons de mesma carga, quando uma força é aplicada ao sistema;



- São bons condutores de eletricidade quando fundidos ou em solução aquosa, consequência da mobilidade dos íons que não estão mais em rede nestes casos.

<sup>14</sup> Texto elaborado a partir das seguintes fontes:

BRADY, J. E.; SENESE, F. **Química**: a matéria e suas transformações. Tradução de Edilson Clemente da Silva et al. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química**: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2014.



## APÊNDICE O - QUESTIONÁRIO E

Nome: \_\_\_\_\_

Os sais cloreto de sódio, cloreto de lítio e cloreto de cálcio são utilizados para diferentes fins. Alguns exemplos são:

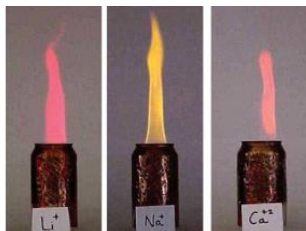
Sais	Aplicações
Cloreto de sódio	Utilizado como tempero (conhecido como sal de cozinha) e conservante de alimentos
Cloreto de lítio	Útil na indústria e produção de lítio metálico
Cloreto de cálcio	Utilizado na indústria alimentícia, principalmente na fabricação de queijos. Tem capacidade de melhorar o poder de cimentação, por isso é utilizado na massa de cimentos.

1) Dentre os átomos presentes nos compostos iônicos (Na, Li, Ca e Cl), quais formam cátions e quais formam ânions? (Dados: números atômicos - Na=11, Li=3, Ca=20, Cl=17).

Estes sais apresentam diferenças relacionadas aos aspectos energéticos. Vamos considerar a seguinte situação.

Sabe-se que os três compostos iônicos são sólidos brancos a temperatura ambiente, sendo praticamente inviável a sua diferenciação a olho nu. Pense na seguinte situação:

Um estudante, em um laboratório, recebeu três amostras de cada um dos sais mencionados. Seu professor solicitou que ele identificasse os sais. Uma das maneiras que o estudante encontrou para diferenciá-los foi pelo teste de chama, que consiste na observação das cores das chamas geradas pela combustão dos sais. Utilizando este suporte prático, o estudante obteve o seguinte resultado:



A origem das cores geradas pela presença de metais nas chamas está na estrutura eletrônica dos átomos. Com a energia liberada na combustão, os elétrons externos dos átomos de metais são promovidos a estados excitados e, ao retornarem ao seu estado eletrônico inicial, liberam a energia excedente na forma de luz. A cor (ou os comprimentos de onda) da luz emitida depende da estrutura eletrônica do átomo (GRACETTO, HIOKA e SANTIN FILHO, 2006).

O professor parabenizou o estudante pela sua iniciativa e pela resolução do problema com sucesso. Com o propósito de fazer o estudante avançar em seus estudos, o professor lançou o mesmo desafio para ele, entretanto, agora o foco seria a estrutura dos sais.

2) Determine a fórmula unitária de cada composto.

3) Proponha um modelo que represente cada um dos retículos cristalinos.

O professor informou ao estudante que uma maneira teórica de identificar os sais poderia ser comparando os valores de suas energias reticulares. Então, ele afirmou que a energia dos cristais dos compostos iônicos depende da carga e tamanho dos íons. Sendo assim, em cada amostra o professor acrescentou o valor da energia reticular de cada sal, conforme a Tabela:

	X	Y	Z
Energia reticular	-787 KJ/mol	-845 KJ/mol	-2258 KJ/mol

4) Quem são os sais representados por X, Y e Z?

5) Comparando o sal X e o sal Y, qual a diferença entre eles que justificaria a maior energia reticular do Y?

6) Comparando o X e Z, qual a diferença entre eles que justificaria a maior energia reticular do Z?

## APÊNDICE P - QUESTIONÁRIO F

Nome:

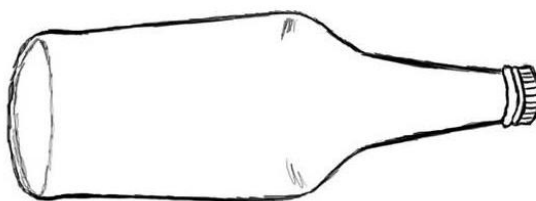
Turma:

O segundo tipo de ligação interatômica que estudaremos é a ligação covalente. Diferentemente da ligação iônica (que une íons), a ligação covalente ocorre entre átomos (espécies neutras). Leia com atenção e responda as seguintes questões.

1) Vamos imaginar a seguinte situação:

Por um momento suponha que você possui uma garrafa cheia de átomos de oxigênio gasosos (no recipiente não há moléculas).

a) Faça um desenho em escala submicroscópica destes átomos.



b) Justifique se os átomos estão estáveis ou não.

c) O que possivelmente irá ocorrer?

2) Como você imagina que ocorre a formação de uma ligação covalente entre dois átomos? Qual o tipo de atração responsável pela união de átomos na ligação covalente?

-Para ajudar pense na estrutura atômica e esquematize através de um desenho as partes do átomo (núcleo e eletrosfera) para propor a interação.

3) São exemplos de duas moléculas: o  $H_2$  e o  $HF$ . A partir destas moléculas responda:

a) Entre os átomos de H e F, qual é o mais eletronegativo?

b) Uma das maneiras de representá-las é através das fórmulas moleculares:



O que este traço indica para você?

c) Considerando novamente as representações das fórmulas moleculares, indique no traço onde você imagina que se encontram os elétrons envolvidos na ligação.



**APÊNDICE Q - EXERCÍCIO PARA RELACIONAR AS TEMPERATURAS DE FUSÃO COM O TIPO DE LIGAÇÃO COVALENTE**

Observe as temperaturas de fusão das seguintes moléculas:

	H <sub>2</sub>	HF
Temperatura de fusão	-259,1°C	-83,55°C

As temperaturas são muito baixas, sendo este o motivo destas moléculas serem encontradas no estado gasoso a temperatura ambiente (25°C).

Entretanto, observamos uma considerável diferença na temperatura de fusão destas duas substâncias.

- Cada grupo deve propor um modelo que represente a união dos átomos nestas duas moléculas. Para isso, vocês podem utilizar massa de modelar e palitos.

- Através do modelo elaborado pelo grupo, seria possível explicar esta diferença? Explique.

## APÊNDICE R – REVISÃO SOBRE ELETRONEGATIVIDADE E EXERCÍCIOS DE DENSIDADE ELETRÔNICA

### Eletronegatividade

É a tendência que um átomo possui de atrair elétrons para próximo de si, quando está ligado a outro átomo de elemento químico diferente, numa substância composta.

H																				He							
2,2																											
Li	Be																				B	C	N	O	F	Ne	
1,0	1,5																				2,0	2,5	3,0	3,5	4,0		
Na	Mg																										Ar
0,9	1,2																										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br											Kr
0,8	1,0	1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,8	1,9	1,8	1,9	1,6	1,6	1,8	2,0	2,4	3,0											
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I											Xe
0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,2	2,2	1,9	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,5											
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At											Rn
0,7	0,9		1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,4	1,9	1,8	1,9	1,9	2,0	2,2											
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus											Uuo
0,7	0,9																										

Figura – Valores de Linus Pauling (1932) para a eletronegatividade

- Quanto menor o átomo (raio atômico), maior a atração do núcleo pelos elétrons mais externos e maior a eletronegatividade.

### Exercício

Observe os valores da eletronegatividade para os átomos que constituem as moléculas dos gases  $H_2$  e  $HF$ .

	H	F
Eletronegatividade	2,1	4,0

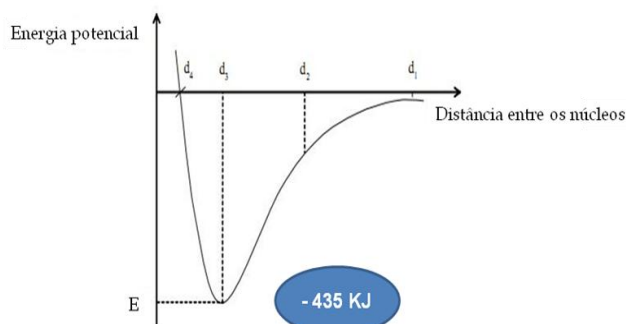
Pensando a partir do conceito de eletronegatividade, proponha um modelo que represente a densidade eletrônica na molécula dos gases  $H_2$  e  $HF$ .

## APÊNDICE S - TEXTO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE LIGAÇÃO COVALENTE

### Ligação covalente

É a atração entre átomos formando um composto.

Vejamos o que ocorre quando dois átomos de hidrogênio se juntam para formar a molécula de H<sub>2</sub>.

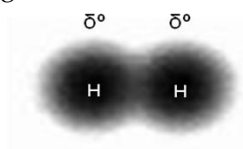


Sempre que ocorre a formação de uma ligação química a energia potencial do sistema diminui, esta energia é liberada do sistema para a vizinhança. Quando ocorre uma ligação covalente, significa que os átomos envolvidos estão compartilhando um par de elétrons. Este compartilhamento pode ser igual ou desigual, isso depende da eletronegatividade dos átomos envolvidos na ligação.

Neste contexto, as ligações covalentes podem ser classificadas em: apolares ou polares.

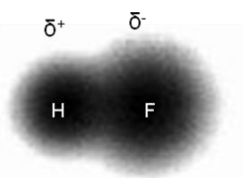
#### Ligação Covalente Apolar

- Ocorre entre átomos de mesma eletronegatividade;
- Os pares de elétrons ficam igualmente compartilhados entre os dois núcleos;
- Não há caráter parcial ( $\delta$ ), pois a ligação é 100% covalente.



#### Ligação Covalente Polar

- Ocorre entre átomos de diferente eletronegatividade;
- O átomo mais eletronegativo exerce uma atração sobre os pares de elétron, adquirindo um caráter parcial negativo ( $\delta^-$ ) e o outro átomo um caráter parcial positivo ( $\delta^+$ ).



Desta forma o grau de polaridade de uma ligação, ou seja, o quanto a ligação é polar depende da diferença de eletronegatividade entre os átomos. Quanto maior a diferença, mais polar a ligação é a ligação e mais a densidade eletrônica é deslocada na direção do átomo que atrai mais os elétrons.

**APÊNDICE T - TESTE DOS MODELOS CONSTRUÍDOS PARA AS MOLÉCULAS DE H<sub>2</sub> E HF E PARA O RETÍCULO CRISTALINO DO NaCl A PARTIR DE EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS**

Observe as temperaturas de fusão das seguintes substâncias:

	H <sub>2</sub>	HF	NaCl
Temperatura de fusão (°C)	-259,1°C	-83,55	808°C
Estado físico a temperatura ambiente	Gasoso	Gasoso	Sólido

- Comparando as temperaturas de fusão e os tipos de ligações químicas predominante em cada composto, o que você pode concluir a partir destes dados?
- Voltando aos modelos construídos em grupo, vocês fariam alguma modificação para que o mesmo possa abranger essas novas informações? Quais e por quê?

## APÊNDICE U - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL “NEM TUDO QUE RELUZ É OURO”

### Atividade experimental: Nem tudo que reluz é ouro

Os primeiros metais a serem manipulados pelo homem foram aqueles que podiam ser encontrados puros na natureza como, por exemplo, o ouro. Seu nome vem do latim *aurum* (aurora reluzente), é um metal de coloração dourada, de aspecto brilhante, resistente à corrosão, dúctil e maleável. A história nos conta que desde a época dos alquimistas existiam estudos de reações que transformassem materiais de baixo custo em ouro.

A reação que você realizará a seguir pode, em um primeiro momento, levar a pensar que conseguimos atingir o objetivo traçado pelos alquimistas.

Materiais e reagentes	Procedimento
- nitrato de chumbo II; - iodeto de potássio;	- Misture quantidades iguais das soluções de nitrato de chumbo II e de iodeto de potássio; - Aqueça a mistura, misturando bem; - Deixe a mistura esfriar lentamente e fique misturando para ver o que acontece depois de algum tempo.

- Observe os reagentes antes de coloca-los em contato.

- Anote o que você observou quando misturou os reagentes. O que acontece se aquecer? E se deixarmos esfriar novamente? Registre suas observações.

a) Quais as fórmulas mínimas dos dois reagentes?

b) Proponha um modelo submicroscópico que represente as soluções de nitrato de chumbo II e iodeto de potássio?

c) Por que o produto desta reação poderia ser confundido com o ouro? Qual seu aspecto macroscópico?

d) A partir dos reagentes da reação, você acredita que conseguimos obter ouro como produto da reação? Por quê?

e) Qual é o produto desta reação?

f) Proponha um modelo que represente microscopicamente a atração dos íons no  $PbI_2$ ?

e) Qual é o tipo de ligação predominante em cada composto?

## APÊNDICE V - SOLVATAÇÃO E CARÁTER DAS LIGAÇÕES<sup>15</sup>

A solubilidade de um composto é favorecida quando a energia gasta na quebra do retículo cristalino é menor que a energia liberada na solvatação dos íons pela molécula de água (H<sub>2</sub>O). Alguns exemplos na tabela a seguir:

Composto	Energia reticular	Energia de solvatação	Energia resultante
NaCl	+766 KJ mol <sup>-1</sup>	-770 KJ mol <sup>-1</sup>	-4 KJ mol <sup>-1</sup>
KCl	+690 KJ mol <sup>-1</sup>	-686 KJ mol <sup>-1</sup>	+4 KJ mol <sup>-1</sup>

Podemos perceber pelos valores, que se misturarmos NaCl a água, o sistema final irá aquecer. E, se misturarmos KCl a água, o sistema irá resfriar.

O processo de solvatação do NaCl é representado na Figura abaixo:

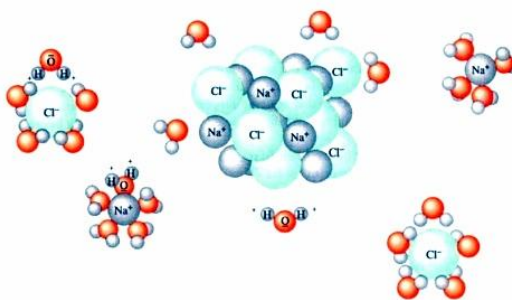


Figura - Modelo de dissolução do cloreto de sódio em água

No processo de solvatação, íons positivos e negativos ficam envolvidos por moléculas de água, orientadas de maneira diferente:

- os íons positivos são envolvidos pela região negativa da molécula de água, próxima ao átomo de oxigênio;
- os íons negativos são envolvidos pela região positiva da molécula de água, próxima aos átomos de hidrogênio.

<sup>15</sup> Texto elaborado a partir das seguintes fontes:

BRADY, J. E.; SENESE, F. **Química**: a matéria e suas transformações. Tradução de Edilson Clemente da Silva et al. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química**: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2014.

WHITTEN, K. W.; DAVIS, R. E.; PECK, M. L. General Chemistry With Qualitative Analysis. 6. ed. Saunders. Philadelphia: 2000.

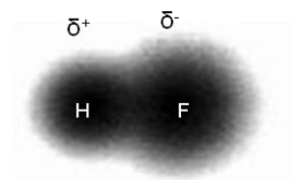
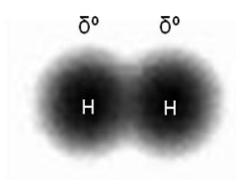


## APÊNDICE W - QUESTIONÁRIO G

Nome:

Turma:

1) Interprete as seguintes representações:




---



---



---



---



---



---



---



---

2) Considerando as substâncias do exercícios anterior, observe as seguintes propriedades:

Substância	Temperatura de fusão (°C)	Energia de ligação (KJ.mol <sup>-1</sup> )
A	-83,55	569
B	-259,1	435

A partir das informações fornecidas, indique qual das substâncias (H<sub>2</sub> e HF) pode ser A e qual pode ser B? Explique sua escolha.

3) Um estudante adicionou água em alguns sais. Represente as seguintes situações:

a) NaCl (sal de cozinha) e água

b) PbI<sub>2</sub> e água

Explique seus desenhos.

Dados:

Valores da eletronegatividade de Linus Pauling → Na: 0,9; Cl: 3,0; Pb: 1,9; I: 2,5.

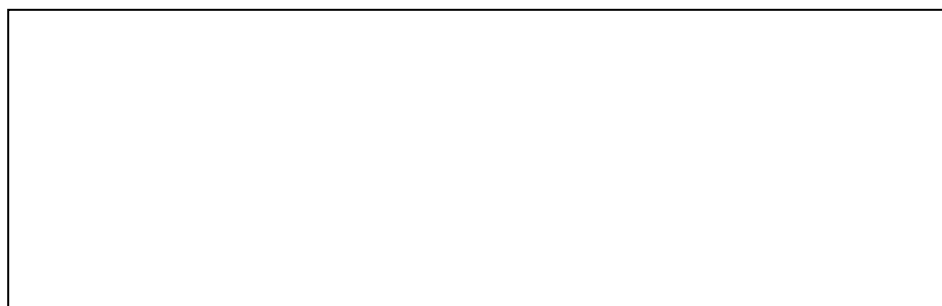
## APÊNDICE X - QUESTIONÁRIO H

Nome:

Turma:

Começaremos o estudo do último tipo de ligação interatômica existente, a ligação metálica. Conforme a própria denominação sugere, é uma interação que une os elementos metálicos. Responda atentamente as seguintes questões.

- 1) Pense em alguns objetos metálicos que você tem contato diariamente. Cite-os.
  
- 2) Cite algumas características dos metais.
  
- 3) Uma importante propriedade periódica para o estudo das ligações metálicas é a energia de ionização. O que você entende por esta propriedade? Considerando os valores da energia de ionização, os metais possuem alto valor ou baixo valor?
  
- 4) Quais íons podem ser formados a partir dos seguintes metais:
  - a) Na
  - b) Ca
  - c) Fe
  - e) Al
  
- 5) As latas de refrigerante são constituídas por átomos de alumínio. Proponha um modelo de ligação para os átomos de alumínio das latas de refrigerante.



## APÊNDICE Y - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE DE MODELAGEM "UM MODELO DE INTERAÇÃO ENTRE ÁTOMOS METÁLICOS"

### **Atividade de modelagem: Um modelo de interação entre átomos metálicos**

Dentre os elementos da tabela periódica, os metais são os que possuem menor energia de ionização, o que confere a eles a capacidade de formar cátions. Entretanto, pelos valores disponibilizados da energia de ionização, percebemos que deve ser fornecida energia para a formação dos cátions. Se fornecermos energia, estamos aumentando a energia do sistema, que não contribui para sua estabilização. No entanto, temos provas empíricas, inclusive no nosso dia a dia, que os átomos de elementos metálicos se mantêm unidos por muito tempo, o que caracteriza um sistema estável. A partir destas considerações proponha um modelo capaz de explicar a ligação que ocorre entre os metais.

- Qual é o tipo de interação que está unindo os íons?

## APÊNDICE Z - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL “VERIFICAÇÃO DA CONDUÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA”

Considere as três substâncias sólidas:

I- Cloreto de sódio

II- Areia

III- Limalha de ferro

Com o auxílio do dispositivo para medir a condutividade elétrica, responda as seguintes questões:

Substâncias	Observações	Substâncias	Observações
Cloreto de sódio <sub>(s)</sub>		Cloreto de sódio <sub>(aq)</sub>	
Areia <sub>(s)</sub>		Areia <sub>(aq)</sub>	
Limalha de ferro <sub>(s)</sub>		Limalha de ferro <sub>(aq)</sub>	

- 1) Quais substâncias conduzem a eletricidade no estado sólido?
- 2) Quais substâncias conduzem a eletricidade em solução aquosa?
- 3) Considerando os três tipos de ligações químicas, classifique as substâncias I, II e III.
- 4) Faça um desenho que represente cada uma das situações testadas por você em relação a condutividade elétrica desses materiais.

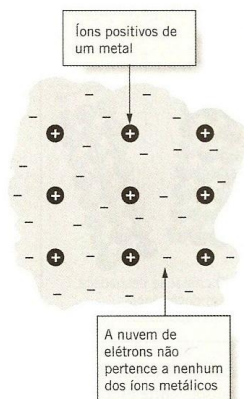
Desenho	Explicação do desenho	Desenho	Explicação do desenho
Cloreto de sódio <sub>(s)</sub>		Cloreto de sódio <sub>(aq)</sub>	
Areia <sub>(s)</sub>		Areia <sub>(aq)</sub>	
Limalha de ferro <sub>(s)</sub>		Limalha de ferro <sub>(aq)</sub>	

- 5) O que é responsável pela condução da eletricidade?

## APÊNDICE AA - TEXTO SOBRE AS PROPRIEDADES DOS SÓLIDOS IÔNICOS, COVALENTES E METÁLICOS<sup>16</sup>

### Ligação metálica

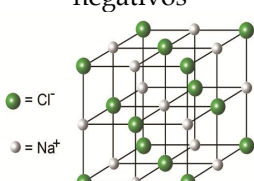

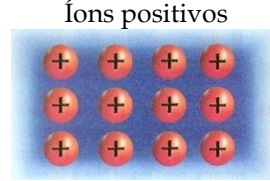
Os metais são formados por íons positivos empacotados. Os elétrons negativamente carregados mantêm esses íons unidos. O número de cargas positivas e negativas são exatamente iguais, uma vez que os elétrons se originam de átomos neutros dos metais.



A esse tipo de interação eletrostática na qual temos um conjunto de íons positivos, que atraem, simultaneamente, um número de elétrons igual à carga do íon, damos o nome de ligação metálica.

### Estudo dos Sólidos a partir dos tipos de ligações

Com o estudo dos três tipos de ligações químicas, podemos estudar as características dos sólidos formados.

Tipo de sólido	Partículas que constituem a rede	Atração	Exemplo	Propriedades
Iônico	Íons positivos e íons negativos  ● = Cl <sup>-</sup> ● = Na <sup>+</sup>	Atrações entre íons de cargas opostas	NaCl, CaCl <sub>2</sub>	Relativamente duros, quebradiços, altos pontos de fusão, não condutores de eletricidade no estado sólido, mas conduzem quando fundidos
Covalente	Átomos 	Ligações covalentes entre os átomos	Diamante (C), SiO <sub>2</sub> (areia)	Muito duros, altos pontos de fusão e não condutores de eletricidade
Metálico	Íons positivos 	Atração entre íons positivos e elétrons livre por todo o cristal	Cu, Fe, Ag, Na	Variam de muito duros a muito moles, ponto de fusão variando entre altos e baixos, conduzem a eletricidade e possuem brilho característico

<sup>16</sup> Texto elaborado a partir das seguintes fontes:

BRADY, J. E.; SENESE, F. **Química**: a matéria e suas transformações. Tradução de Edilson Clemente da Silva et al. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

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

## APÊNDICE AB - MATERIAL DISPONIBILIZADO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL “APLICANDO UMA FORÇA EM DIFERENTES SÓLIDOS”

Observe os seguintes materiais:

- Vaso de barro (iônico)
- Lata de refrigerante (metálico)

Com o auxílio de um martelo, aplique uma força a cada um destes materiais.

Responda as seguintes questões:

- 1) Observe como cada um se comportou. Descreva suas observações.
  
- 2) Faça uma pesquisa sobre as ligações químicas existentes entre os átomos que constituem cada um dos materiais. Qual é o tipo de ligação predominante em cada material?
  
- 3) Explique esse fato com base nas ligações químicas existentes entre os átomos que constituem cada um dos materiais.
  
- 4) Proponha um desenho que ilustre o fenômeno observado. Represente a estrutura da matéria antes e após a aplicação da martelada (força externa).

## APÊNDICE AC - QUESTIONÁRIO FINAL EIXO LIGAÇÃO METÁLICA

Nome:

Turma:

### Questionário final - Eixo ligação metálica

Os metais estão muito presentes no nosso cotidiano. É comum termos em casa uma panela de ferro, parecida como a ilustrada a seguir. Geralmente, elas são utilizadas para ensopados e cozidos.

1) Represente no espaço indicado como os átomos de ferro estão unidos nesta panela.



2) Qual o tipo de atração é responsável por manter os átomos de ferro unidos na panela de ferro?

3) Por que podemos cozinhar neste tipo de panela sem ela derreter?

4) Os metais são bons condutores de eletricidade. A que você atribui esta característica? Explique.

5) Ao cair de uma prateleira, um vaso ficou amassado em uma de suas laterais. Com base no seu conhecimento sobre sólidos, responda se esse vaso era de cerâmica ou prata? Explique sua resposta.

## APÊNDICE AD - QUESTIONÁRIO J

Nome:

Considere as seguintes informações sobre as substâncias a seguir:

Substância	Temperatura de fusão	Substância	Temperatura de fusão
HF	-83,55	Al	660,3°C
NaCl	808°C	H <sub>2</sub> O	0°C
CH <sub>4</sub>	-182°C	CaCl <sub>2</sub>	2572°C
Fe	1538 °C	H <sub>2</sub>	-259,1°C

1) Com base na temperatura de fusão e no seu conhecimento sobre ligações químicas, agrupe as substâncias que apresentam comportamento semelhante. Justifique.

2) Dentre as substâncias disponibilizadas, escolha três (uma de cada tipo de ligação química) e complete o quadro a seguir:

Tipos de ligações	Como ela acontece	Represente (desenhe a ligação) e explique
Ligação iônica		
Ligação covalente		
Ligação metálica		

3) Levando em consideração o exercício anterior, o que é responsável pela união dos átomos em cada substância?

4) Comente a frase “o que é responsável pela estabilidade das substâncias é a formação dos octetos dos átomos envolvidos”?



5) As fotos a seguir mostram dois objetos que se comportam de maneira diferente ao sofrerem a ação de uma força externa (pancada). Explique por que observamos essa diferença?




---



---



---



---




---



---

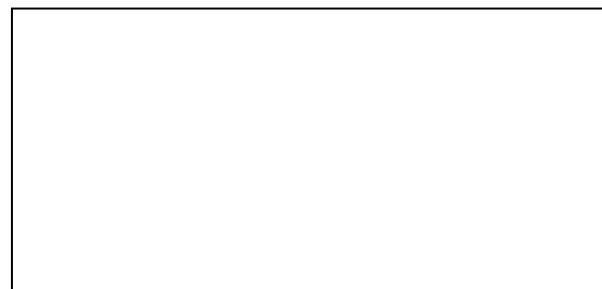


---

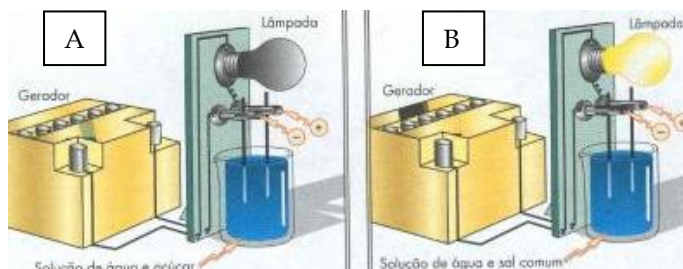


---

Faça uma representação submicroscópica para os dois sistemas, mostrando como estão organizados os átomos em cada um dos vasos.



6) Observe as seguintes ilustrações:



No sistema B houve condução de corrente elétrica, pois a lâmpada acendeu. Explique este acontecimento com base em seus conhecimentos sobre ligações químicas.

7) Ainda utilizando o aparato da questão anterior (para detectar a condução de eletricidade), a lâmpada acenderia se testássemos com pedaço de “esfregão de aço”, constituído apenas por átomos de ferro? Explique.

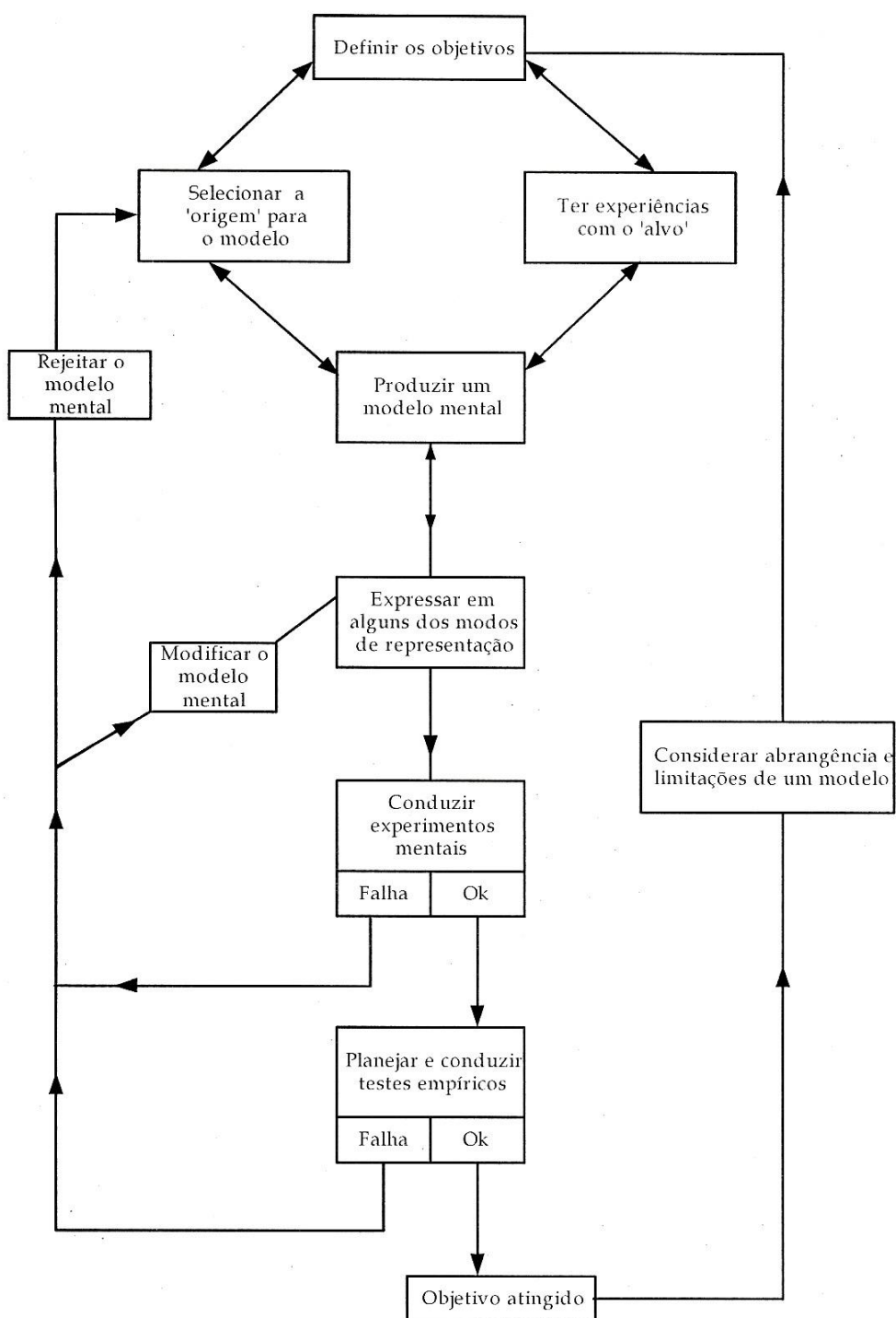
Obrigado pela participação!

## APÊNDICE AE - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO INDIVIDUAL DAS RESPOSTAS DOS SUJEITOS DO CONTEXTO DA SEA EM CATEGORIAS

Sujeito	Dimensão Estabilidade química			Dimensão Ligação iônica			Dimensão Ligação covalente			Dimensão Ligação metálica		
	Inicial	Intermediária	Final	Inicial	Intermediária	Final	Inicial	Intermediária	Final	Inicial	Intermediária	Final
Es1	B	G	B	C	D	F	D	B	E	D	E	B
Es2	A	C	D	F	C	B	D	F	E	E	D	D
Es3	F	C	E	H	B	A	A	A	A	F	A	A
Es4	F	I	C	B	B	A	E	A	B	D	A	A
Es5	F	I	C	D	A	A	C	F	B	D	C	A
Es6	C	C	A	I	A	A	F	E	B	D	B	A
Es7	G	G	B	F	B	C	D	F	E	E	D	B
Es8	F	F	C	C	A	B	C	E	D	D	C	E
Es9	G	F	C	B	E	G	F	A	F	B	C	D
Es10	F	E	A	H	A	B	C	B	B	D	A	C
Es11	C	D	C	A	B	G	C	C	H	D	A	F
Es12	B	D	E	E	D	A	F	B	D	D	C	B
Es13	C	A	C	H	E	C	C	F	D	F	D	C
Es14	F	C	F	I	B	G	B	B	B	F	B	D
Es15	D	B	B	G	B	F	C	B	G	D	F	D
Es16	F	F	B	I	A	A	A	C	D	A	B	B
Es17	C	C	C	I	A	E	F	E	F	D	D	D
Es18	G	B	H	G	E	F	C	C	H	D	B	F
Es19	C	E	B	E	D	E	C	F	G	D	C	D
Es20	D	A	C	I	B	B	E	B	B	A	C	A
Es21	A	C	F	F	C	F	D	E	F	E	F	F
Es22	G	C	D	I	A	C	A	A	A	B	A	B
Es23	E	I	G	B	C	D	B	D	C	C	E	F
Es24	F	A	A	B	A	C	D	B	B	D	D	C
Es25	E	H	B	B	C	D	B	D	C	C	E	F
Es26	F	F	A	B	C	A	C	B	A	D	C	A
Es27	E	H	G	B	C	B	B	D	C	D	E	E
Es28	E	H	H	B	C	D	B	D	C	C	C	E
Es29	A	H	B	B	B	D	B	D	C	A	C	E

**APÊNDICE AF - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO INDIVIDUAL DAS RESPOSTAS DOS SUJEITOS DO CONTEXTO TRADICIONAL EM CATEGORIAS**

Sujeito	Dimensão Estabilidade química			Dimensão Ligação iônica			Dimensão Ligação covalente			Dimensão Ligação metálica		
	Inicial	Intermediária	Final	Inicial	Intermediária	Final	Inicial	Intermediária	Final	Inicial	Intermediária	Final
Et1	E	A	B	B	B	C	A	B	G	C	C	B
Et2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Et3	C	C	A	F	D	E	D	D	B	F	C	C
Et4	D	E	B	D	C	E	E	E	G	B	A	B
Et5	A	B	D	D	D	D	A	E	D	A	B	B
Et6	C	G	D	F	E	E	C	D	H	B	A	D
Et7	B	B	B	E	A	E	F	E	G	D	B	B
Et8	C	A	B	D	A	A	D	A	A	F	A	A
Et9	B	F	D	F	D	E	C	D	H	A	D	C
Et10	E	F	B	F	D	C	E	C	D	G	D	B
Et11	C	G	B	F	C	D	E	B	B	F	B	B
Et12	E	E	A	F	D	B	F	C	E	D	D	A
Et13	C	A	B	F	E	E	D	D	F	E	D	C
Et14	*	F	G	E	A	B	F	C	E	B	E	B
Et15	C	C	C	D	A	D	D	A	B	G	B	D
Et16	B	C	D	F	E	E	F	C	E	A	B	C
Et17	A	B	C	C	A	A	F	F	B	E	C	B
Et18	B	D	F	C	C	F	B	F	C	A	C	D
Et19	D	D	E	C	C	G	B	F	F	C	D	E
Et20	B	B	F	C	C	F	B	F	C	C	C	D
Et21	B	D	E	A	E	G	B	F	F	E	E	E

ANEXO 1 - DIAGRAMA MODELO DE MODELAGEM<sup>17</sup>

<sup>17</sup> JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.