

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

Ana Carolina Gomes Miranda

**TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS DE
ESTUDANTES DO NÍVEL MÉDIO SOBRE FORÇAS
INTERMOLECULARES**

Santa Maria, RS
2018

Ana Carolina Gomes Miranda

**TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS DE ESTUDANTES
DO NÍVEL MÉDIO SOBRE FORÇAS INTERMOLECULARES**

Tese de doutorado apresentada ao curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Área de concentração em Educação em Ciências, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS,) como requisito para a obtenção do grau de **Doutora em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde.**

Orientadora: Dr^a Mara Elisa Fortes Braibante

Santa Maria, RS
2018

Miranda, Ana Carolina Gomes
Transição progressiva dos modelos explicativos de
estudantes do nível médio sobre forças intermoleculares /
Ana Carolina Gomes Miranda.- 2018.
289 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, 2018

1. Forças intermoleculares 2. Lakatos 3. Sequência
didática I. Braibante, Mara Elisa Fortes II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Ana Carolina Gomes Miranda. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

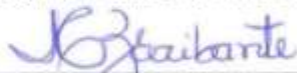
E-mail: miranda.acg@gmail.com

Ana Carolina Gomes Miranda

**TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS DE ESTUDANTES
DO NÍVEL MÉDIO SOBRE FORÇAS INTERMOLECULARES**

Tese de doutorado apresentada ao curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Área de concentração em Educação em Ciências, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito para a obtenção do grau de **Doutora em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde.**

Aprovada em 12 de dezembro de 2018



Mara Elisa Fortes Braibante, Dr^a (Presidente/Orientador)



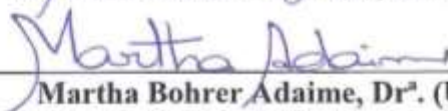
Simone Alves de Assis Martorano, Dr^a. (UNIFESP)



Camila Aparecida Tolentino Cicuto, Dr^a. (UNIPAMPA)



Maurício Selvero Pazinato, Dr. (UFRGS)



Martha Bohrer Adaime, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a professora **Mara**. Minha mais sincera gratidão por toda paciência, incentivo, carinho, orientação e amizade. Agradeço pela oportunidade de trabalhar no PIBID, pela orientação no mestrado e pela oportunidade no doutorado. Agradeço pelos ensinamentos nesses oito anos de convívio, que me proporcionaram uma melhor formação tanto pessoal, quanto profissional. Muito obrigada pela excelente orientação e pela inestimável amizade. Serei eternamente grata por tudo!

Estendo meu agradecimento ao grande mestre professor **Hugo**, primeiramente, pela amizade, pela paciência e destreza em ensinar, pelas longas conversas científicas na salinha e por todos os inúmeros ensinamentos. Tenho muito carinho, admiração e tenho certeza que essa amizade será para vida inteira.

À minha maravilhosa família, meus irmãos, **Bárbara, Michael** e **Felipe**, mas principalmente meus **pais**, por todo apoio incondicional, por compartilhar todas as minhas dificuldades, alegrias, conquistas e vitórias. A força, determinação e coragem de vocês foram as minhas inspirações diárias para a conquista desse sonho.

À **Thais**, agradeço por ser uma pessoa tão especial e maravilhosa. Muito obrigada pelo amor incondicional, carinho, paciência, compreensão, incentivos e por me apoiar em todos os obstáculos e dividir e comemorar comigo todas as alegrias e conquistas. Não tem preço ter ao lado uma pessoa com tamanha sabedoria e benevolência.

Um especial agradecimento e gratidão ao meu grande amigo **Mauri**, pela incondicional, verdadeira e sincera amizade. Sou afortunada por ter conquistado uma amizade com tamanha lealdade! Muito obrigada pelos incentivos, broncas, conversas e pelas valiosas contribuições em minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

Agradeço aos meus colegas do melhor grupo de pesquisa, LAEQUI! Muito obrigada **Marcele, Ediane, Giovanna, Leandro, Fernando, Michele, Sabrina, Greyce, Valeska, Arlete, Fabi, Alejandra (colombiana preferida), Ângela, Édila, Thais, Vânia e Gustavo** por todos os momentos de aprendizagem e troca de experiências! Participar desse grupo possui um valor sentimental inestimável, pois foi nele que me constituí como pessoa, professora e pesquisadora. Serei eternamente grata e lembrarei sempre com muito carinho desses 8 anos de convívio.

Agradeço sinceramente aos professores **Maurícius Selvero, Camila Cicuto, Martha e Isabel Garcia**, membros da banca

examinadora, pela disponibilidade de tempo para contribuir com a melhoria desta pesquisa. Um agradecimento especial a professora **Simone Assis**, minha grade referência neste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos ao Instituto Federal Farroupilha, campus Panambi, por acreditar no meu trabalho e me proporcionar desenvolver essa pesquisa. Obrigada **Sandra, Alessandro, Aline, Anna, Felipe, Samile e toda a equipe de Química!** Não posso deixar de agradecer aos alunos que aceitaram participar desta pesquisa e se empenharam a cada atividade desenvolvida. Foi nesta Instituição que cultivei verdadeiras amizades, dentre elas, destaco com muito carinho e apreço a **Marília, Lu, Titi, Rosana, Cris e Júlia**. Muito obrigada meus eternos amigos por todos os momentos inesquecíveis que vivemos!

Também gostaria de registrar meus agradecimentos à direção, coordenação do campus Dom Pedrito da UNIPAMPA e a coordenação do curso da Educação do Campo -Licenciatura, **Thiago, Leonardo e Suzana**, respectivamente, por me proporcionarem parte do tempo para a realização dessa pesquisa. Agradeço aos meus mais novos colegas **Janaína, Camila, Silvana, Fran, Glauco, Crisna, Jessie, Sandra e Cadidja** pelos agradáveis café das 17h30, pela compreensão e por todos os inestimáveis incentivos! De coração, muito obrigada! Um especial agradecimento a minha amiga **Ana Moura**, principalmente pela paciência, cumplicidade e lealdade!

Meus sinceros agradecimentos **aos professores do PPGECQVS**, pelas contribuições, carinho e ensinamentos.

Por fim, agradeço a **CAPES** pelo apoio financeiro durante esses oito anos de vida acadêmica! Espero retribuir esse investimento com muito trabalho, dedicação e contribuição com a pesquisa no ensino de Química e com uma educação pública de qualidade!

RESUMO

TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS DE ESTUDANTES DO NÍVEL MÉDIO SOBRE FORÇAS INTERMOLECULARES

AUTORA: Ana Carolina Gomes Miranda
ORIENTADORA: Mara Elisa Fortes Braibante

O foco de investigação desta pesquisa foi o processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares no nível médio. Os principais objetivos foram realizar um diagnóstico sobre as abordagens desse conteúdo, por meio de uma pesquisa bibliográfica em artigos publicados na área de ensino e investigar a evolução conceitual, por meio de modelos explicativos de estudantes da primeira série do ensino médio sobre forças intermoleculares. Para alcançar os objetivos propostos, esta pesquisa foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizado um levantamento em periódicos nacionais e internacionais da área de ensino de Química e Ciências entre 1991 e 2015. A investigação foi desenvolvida em quatro estágios: 1) Seleção dos periódicos nacionais e internacionais para estudo; 2) Coleta dos dados por meio do levantamento de artigos que abordam o tema; 3) Triagem a partir da leitura integral dos artigos encontrados e exclusão dos que não versam sobre o tema; 4) Análise dos artigos, que foi baseada nos seguintes critérios: Caracterização, Aspectos metodológicos, Base teórica e Resultados. Ao total foram identificados 51 artigos em 11 periódicos e os resultados revelam uma predominância de trabalhos internacionais, sendo que o aumento da produção científica sobre o tema se intensificou nos últimos dez anos, enquanto que no Brasil, essa tendência foi observada nos últimos cinco anos. A maior parte dos artigos analisados é de natureza empírica, com abordagem qualitativa e priorizam a Educação Superior. A teoria construtivista foi a base teórica mais utilizada pelos autores dos artigos avaliados. As concepções alternativas mais recorrentes foram a confusão entre as forças intermoleculares e as ligações químicas, e a dificuldade de interpretar as propriedades das substâncias por meio das forças intermoleculares. Portanto, conhecer os equívocos apresentados pelos estudantes é o ponto de partida para que professores e pesquisadores possam elaborar e desenvolver estratégias didático-pedagógicas que contribuam com a evolução conceitual deste tópico. A segunda etapa, referente a investigação da evolução conceitual sobre o conteúdo de forças intermoleculares, ocorreu mediante o desenvolvimento de uma sequência didática desenvolvida para 52 estudantes de duas turmas da primeira série do ensino médio. Baseando-se na perspectiva de Lakatos, procuramos verificar se os modelos explicativos dos sujeitos formam sequências de transição progressiva, similares ao que Lakatos, na História da Ciência, se refere a "problemática" que aumenta o poder explanatório/heurístico do modelo. A evolução dos modelos, que geralmente consiste em transições progressivas, está relacionada ao entendimento sobre o conteúdo de forças intermoleculares e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria em três dimensões (natureza das forças intermoleculares, forças de London e dipolo-dipolo e ligação hidrogênio). O acompanhamento das ideias dos estudantes ao longo do estudo do conteúdo de forças intermoleculares revelou que em todas as dimensões houve um percentual significativo de estudantes que conseguiu progredir durante a pesquisa. De forma geral, é possível afirmar que as atividades desenvolvidas nas unidades didáticas contribuíram significativamente para a transição progressiva dos modelos explicativos da maioria dos estudantes participantes. Além disso, a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares nas unidades didáticas desenvolvidas capacitou os estudantes a interpretar os fenômenos em estudo, por meio dos níveis de representação da matéria.

Palavras-chave: Forças intermoleculares. Lakatos. Sequência didática.

ABSTRACT

PROGRESSIVE TRANSITION OF EXPLANATORY MODELS OF MIDDLE LEVEL STUDENTS IN INTERMOLECULAR FORCES

AUTHOR: Ana Carolina Gomes Miranda
ODVISOR: Mara Elisa Fortes Braibante

The research focus was the teaching and learning process of intermolecular forces at the middle level and the main objectives were to make a diagnosis about the approaches of this content, through a bibliographical research in published articles in the area of education, as well as to investigate the conceptual evolution, that is, if the explanatory models of students of the first series of high school on intermolecular forces form sequences of progressive transition, from the development of a didactic sequence. To reach the proposed objectives, this research was divided into two stages. In the first stage, a survey was carried out in national and international journals in the area of Teaching of Chemistry and Sciences between 1991 and 2015. The research was developed in four stages: 1) Selection of national and international journals for study; 2) Data collection by means of the collection of articles that approach the theme; 3) Screening from the full reading of the articles found and exclusion from those that do not deal with the topic; 4) Analysis of the articles, which was based on the following criteria: Characterization, Methodological Aspects, Theoretical Basis and Results. A total of 51 articles were identified in 11 journals and the results show: a predominance of international papers, and the increase in scientific production on the subject has intensified in the last ten years, while in Brazil this tendency has been observed in the last five years ; most of the articles are of an empirical nature, with a qualitative approach and prioritize Higher Education; the constructivist theory was the theoretical basis most used by the authors of the evaluated articles; the most recurrent alternative conceptions were the confusion between intermolecular forces and chemical bonds, and the difficulty of interpreting the properties of substances by intermolecular forces; a diversity of proposals for the content approach at different levels of education; the importance of establishing relationships between levels of representation of the subject for the understanding of the subject under study. Therefore, knowing the misunderstandings presented by students is the starting point for teachers and researchers develop didactic-pedagogical strategies that contribute to the conceptual evolution of this topic. The second stage, related to the investigation of the conceptual evolution on the content of intermolecular forces, occurred through the development of a didactic sequence developed for 52 students from two classes of the first grade of high school. Based on the perspective of Lakatos, we try to verify if the explanatory models of the subjects form progressive transition sequences, similar to what Lakatos, in the History of Science, refers to the problematic that increases the explanatory / heuristic power of the model. The evolution of the models, which usually consists of progressive transitions, is related to the understanding of the intermolecular forces content and the ability to move between levels of matter representation in three dimensions (intermolecular forces, London and dipole-dipole forces and hydrogen bonding). The follow-up of students' ideas throughout the study of the content of intermolecular forces revealed that in all dimensions there was a significant percentage of students who were able to progress during the research. In general, it is possible to affirm that the activities developed in didactic units contributed significantly to the progressive transition of the explanatory models of the majority of the participating students. In addition, the approach of the content of intermolecular forces in the didactic units enabled the students to interpret the phenomena under study, through the levels of representation of matter.

Key words: Intermolecular forces. Lakatos. Sequence didactic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema simplificado dos capítulos da tese.....	27
Figura 2 – Ligações químicas vs ligações intermoleculares em moléculas de HCl.....	30
Figura 3 – Formação do dipolo permanente	32
Figura 4 – Interação eletrostática por dipolo permanente	33
Figura 5 – Origem da interação intermolecular íon-dipolo.....	33
Figura 6 – Representação de interações intermoleculares formadas por dipolo-induzido e íon-dipolo.....	34
Figura 7 – Representação das forças de dispersão originadas por dipolo induzido.....	35
Figura 8 – Equação para cálculo da energia potencial	35
Figura 9 – Diagrama de energia potencial x distância internuclear	36
Figura 10 – Representação da formação dos íons K ⁺ e F ⁻	37
Figura 11 – Ilustração do fenômeno da hidratação	38
Figura 12 – Equação para cálculo da energia potencial em uma molécula polar	39
Figura 13 – Moléculas polares em um sólido atraindo-se pela interação entre as cargas parciais de seus dipolos elétricos	40
Figura 14 – Equação para cálculo da energia potencial	41
Figura 15 – Orbital molecular do HF e a formação de um momento de dipolo	42
Figura 16 – Orbital molecular do H ₂ e distribuição simétrica das cargas	42
Figura 17 – Interação eletrostática no estado condensado	43
Figura 18 – Distorção eletrônica causada pela aproximação entre duas moléculas apolares ..	44
Figura 19 – Formação do dipolo induzido	45
Figura 20 – Molécula de pentano e neopentano.....	47
Figura 21 – Equação para cálculo da energia potencial da interação de London	47
Figura 22 – Ligação Hidrogênio	48
Figura 23 – Ligação Hidrogênio na molécula de água	49
Figura 24 – Comparação dos pontos de ebulição de várias substâncias de um mesmo grupo da Tabela Periódica	50
Figura 25 – Estrutura tridimensional do gelo.....	51
Figura 26 – Modelo de hélice dupla para o DNA, proposto por Watson e Crick.....	52
Figura 27 – Pareamento das bases nitrogenadas evidenciando a formação da interação de hidrogênio	54
Figura 28 – Estruturas químicas de alguns compostos que evocam o sabor doce.....	56
Figura 29 – Exemplo de um tensoativo.....	57
Figura 30 – Formação do menisco para o mercúrio (Hg) e para a água líquida.....	58
Figura 31 – Estrutura da pesquisa de análise das publicações sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares.....	79
Figura 32 – Resultados do estudo desenvolvido por Cooper et al. (2015)	90
Figura 33 – Ligações intramoleculares entre átomos de hidrogênio e cloro e ligações intermoleculares entre moléculas de HCl, Chang (2006).....	91
Figura 34 – Representação de um cristal de NaCl dissolvido em água	93
Figura 35 – Esquema da sequência didática proposto por Dolz, Noverraz e Schneuwly	100
Figura 36 – Organização da SD	104
Figura 37 – Diagrama Modelo de Modelagem	108
Figura 38 – Ilustração do procedimento que será desenvolvido	112
Figura 39 – Questões analisadas em cada dimensão e fase da pesquisa.....	129
Figura 40 – Etapas para análise dos resultados	129
Figura 41 – Equação para padronização dos resultados.....	131
Figura 42 – Faixa de Scores	132

Figura 43 – Fórmula para Cálculo da distância euclidiana para formação de grupos similares	132
Figura 44 – Classificação dos estudantes por zona filosófica nas três fases da pesquisa.....	142
Figura 45 – Dendrograma obtido a partir da HCA para a primeira dimensão	143
Figura 46 – Transição progressiva dos estudantes E29, E23, E11, E19, E14, E25, E1 e E7 nas três fases da pesquisa.	145
Figura 47 – Representação pictográfica do E29 na fase inicial.....	150
Figura 48 – Representação pictográfica do E1 na fase inicial.....	150
Figura 49 – Representação pictográfica do E19 na fase inicial.....	151
Figura 50 – Resposta do E29 referentes a atividade experimental desenvolvida na Unidade Didática 1	154
Figura 51 – Representação pictográfica do E1 na fase intermediária	156
Figura 52 – Representação pictográfica do E19 na fase intermediária	156
Figura 53 – Representação pictográfica do E29 na fase final	162
Figura 54 – Representação pictográfica do E23 na fase final	162
Figura 55 – Representação pictográfica do E25 na fase final	162
Figura 56 – Representação pictográfica do E1 na fase final	163
Figura 57 – Classificação dos estudantes por zona filosófica nas três fases da pesquisa referente à segunda dimensão	170
Figura 58 – Dendrograma obtido a partir da HCA para a segunda dimensão.....	172
Figura 59 – Transição progressiva dos estudantes E29, E20, E25, E14 e E1 nas três fases da pesquisa.	173
Figura 60 – Representação pictográfica do E20 na fase inicial da segunda dimensão pesquisa.....	177
Figura 61 – Representação pictográfica do E25 na fase inicial da segunda dimensão pesquisa.....	178
Figura 62 – Representação pictográfica do E14 na fase inicial da segunda dimensão pesquisa.....	178
Figura 63 – Representação pictográfica do E20 na fase intermediária da segunda dimensão pesquisa.....	180
Figura 64 – Representação pictográfica do E14 na fase intermediária da segunda dimensão pesquisa.....	181
Figura 65 – Representação pictográfica do E25 na fase intermediária da segunda dimensão pesquisa.....	181
Figura 66 – Classificação dos estudantes por zonas filosóficas nas três fases da pesquisa ..	188
Figura 67 – Dendrograma obtido a partir da HCA para a terceira dimensão.....	189
Figura 68 – Transição progressiva do estudante E29, E5, E1, E11, E3 e E25 para as três fases da pesquisa para terceira dimensão	191
Figura 69 – Representação pictográfica do E25 na fase inicial da terceira dimensão da pesquisa.....	195
Figura 70 – Representação pictográfica do E11 na fase inicial da terceira dimensão da pesquisa.....	195
Figura 71 – Representação pictográfica do E5 na fase inicial da terceira dimensão da pesquisa.....	195
Figura 72 – Representação pictográfica do E3 na fase final da terceira dimensão da pesquisa.....	201
Figura 73 – Representação pictográfica do E25 na fase final da terceira dimensão da pesquisa.	201

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 – Forças intermoleculares	31
Quadro 2 – Programa de Investigação científica atual para forças intermoleculares	62
Quadro 3 – Relação de periódicos nacionais analisados	77
Quadro 4 – Relação de periódicos internacionais analisados	77
Quadro 5 – Roteiro para análise dos artigos nacionais e internacionais selecionados	78
Quadro 6 – Elementos estruturadores de uma SD	101
Quadro 7 – Problemas, objetivos e atividades da unidade didática 1	110
Quadro 8 – Descrição da unidade didática 2	115
Quadro 9 – Tabela de resultados da pesquisa	116
Quadro 10 – Descrição da unidade didática 3	119
Quadro 11 – Guia de orientação para o desenvolvimento da investigação	120
Quadro 12 – Lista de moléculas para análise	122
Quadro 13 – Etapas da validação baseadas na Engenharia Didática	123
Quadro 14 – Proposta de Validação da SD “Forças intermoleculares”	124
Quadro 15 – Conceitos para a avaliação da SD	124
Quadro 16 – Instrumento avaliativo de validação da SD	125
Quadro 17 – Caracterização dos instrumentos de coleta de dados	126
Quadro 18 – Descrição das Zonas Filosóficas	130
Quadro 19 – Descrição das categorias propostas para os níveis de representação da matéria	134
Quadro 20 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase inicial da pesquisa	136
Quadro 21 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase intermediária da pesquisa	137
Quadro 22 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase final da pesquisa	139
Quadro 23 – Concepções dos estudantes na fase inicial da pesquisa	148
Quadro 24 – Concepções dos estudantes na fase intermediária da pesquisa	152
Quadro 25 – Concepções dos estudantes na fase final da pesquisa	158
Quadro 26 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase inicial da pesquisa	164
Quadro 27 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase intermediária da pesquisa	165
Quadro 28 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase final da pesquisa	168
Quadro 29 – Modelos explicativos estudantes na fase inicial da pesquisa	175
Quadro 30 – Modelos explicativos dos estudantes na fase intermediária da pesquisa	179
Quadro 31 – Modelos explicativos dos estudantes na final da pesquisa	182
Quadro 32 – Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase inicial da pesquisa	184
Quadro 33 – Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase intermediária da pesquisa	185
Quadro 34 – Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase final da pesquisa	186
Quadro 35 – Modelos explicativos estudantes na fase inicial da pesquisa	194
Quadro 36 – Modelos explicativos estudantes na fase Intermediária da pesquisa	196
Quadro 37 – Modelos explicativos dos estudantes na final da pesquisa	198
Quadro 38 – Visão geral da evolução conceitual por dimensão e fases da pesquisa	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação em termos de magnitude média das interações intermoleculares e as ligações químicas	30
Tabela 2 – Ponto de ebulição e comprimento de ligação dos Halogênios	46
Tabela 3 – Relação dos periódicos e número de artigos publicados por período de cinco anos	80
Tabela 4 – Resultados referentes às categorias a, b e c	83
Tabela 5 – Resultados encontrados referentes à base teórica	86
Tabela 6 – Score atribuído por zona filosófica.....	131
Tabela 7 – Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva	144
Tabela 8 – Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva	172
Tabela 9 – Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva	189
Tabela 10 – Classificação dos estudantes por score e zona filosófica.....	190

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIC	Programa de Investigação Científica
RRD	Reconstrução Racional Didática
SD	Sequência Didática
EAP	Ensino e Aprendizagem
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
QNEsc	Química Nova na Escola
JCE	Journal of Chemical Education
CERP	Chemistry Education Research and Practice
REEC	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias
ES	Educação superior
EF	Ensino Fundamental
EJA	Educação de Jovens e Adultos
MMC	Modelo de mudança conceitual
UD	Unidade Didática
HCA	Hierarchical Cluster Analysis
ME	Modelo explicativo macroscópico
MÊS	Modelo explicativo submicroscópico
MEV	Modelo explicativo vinculado
NFI	Natureza das forças intermoleculares
FIPF	Forças intermoleculares e as propriedades físicas
FIS	Forças intermoleculares e a solubilidade
FLDD	Forças de London e dipolo-dipolo
RFPF	Relação entre essas forças e o ponto fusão
LH	Ligação Hidrogênio
LHPF	Ligação Hidrogênio e as propriedades físicas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO	29
1.1 FORÇAS INTERMOLECULARES	29
1.1.1 A origem e natureza das forças intermoleculares	31
1.1.2 Forças Íon-dipolo.....	38
1.1.3 Interações dipolo-dipolo.....	40
1.1.4 Forças de Dispersão de London	44
1.1.5 Ligação Hidrogênio	48
1.1.5.1 DNA - Ligações hidrogênio que explicam a vida.....	52
1.1.5.2 Interações de hidrogênio na ação anticoagulante	54
1.1.5.3 A sensação do sabor doce e as ligações hidrogênio	55
1.1.5.4 Fenômenos relacionados à tensão superficial.....	57
1.2 IMRE LAKATOS E A TRANSIÇÃO PROGRESSIVA.....	59
1.2.1 A epistemologia de Imre Lakatos.....	59
1.2.2 Epistemologia de Imre Lakatos e o processo de ensino e aprendizagem em Ciências.....	65
CAPÍTULO 2 – 1ª ETAPA - DIAGNÓSTICO DO ENSINO E APRENDIZAGEM DE FORÇAS INTERMOLECULARES.....	73
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	73
2.2 PANORAMA DAS PESQUISAS SOBRE O ENSINO E APRENDIZAGEM DE FORÇAS INTERMOLECULARES	76
2.2.1 Percurso metodológico	76
2.2.2 Apresentação e discussão dos resultados	80
2.2.2.1 Caracterização dos artigos	80
2.2.2.2 Aspectos metodológicos	83
2.2.2.3 Base teórica e principais resultados	86
CAPÍTULO 3 – 2ª ETAPA – INVESTIGANDO AS SEQUÊNCIAS DE TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS.....	97
3.1 CONTEXTO DA APLICAÇÃO.....	97
3.2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	98
3.2.1 Elaboração da SD	103
3.3 DESCRIÇÃO DA SD	109
3.3.1 Unidade didática 1: Natureza das interações intermoleculares.....	109
3.3.2 Unidade didática 2: Dipolo-dipolo e Forças de London	114
3.3.3 Unidade didática 3: Ligação Hidrogênio	118
3.3.4 Validação da SD.....	123
3.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	126
3.4.1 Coleta de dados.....	126
3.4.2 Sujeitos da pesquisa.....	127
3.4.3 Método de análise dos dados	128
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS....	135
4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIMENSÃO NATUREZA DAS FORÇAS INTERMOLECULARES	135
4.1.1 Processo de categorização inicial –Etapas I e II.....	136

4.1.2	Transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes para a dimensão natureza das forças intermoleculares	144
4.2	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIMENSÃO FORÇAS DE LONDON E DIPOLO-DIPOLO	163
4.2.1	Processo de categorização inicial –Etapas I e II.....	163
4.2.2	Transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes para a dimensão dipolo-dipolo e forças de London.....	173
4.3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIMENSÃO LIGAÇÃO HIDROGÊNIO.	184
4.3.1	Processo de categorização inicial – Etapas I e II.....	184
4.3.2	Transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes para a dimensão ligação hidrogênio.....	191
4.4	VISÃO GERAL E SÍNTESE DOS RESULTADOS	202
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	207
	REFERÊNCIAS.....	213
	LISTA DE APÊNDICES.....	225

INTRODUÇÃO

Os três grandes pilares da Química, que sustentam a explicação da natureza íntima da matéria e suas transformações, são: estrutura atômica, ligações químicas e forças intermoleculares. Para compreender fatos e acontecimentos do dia a dia, sob a óptica da ciência, é necessário entender os conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação (PAZINATO, 2016).

A compreensão desses conceitos, que exigem um complexo nível de abstração, implica necessariamente que os estudantes consigam transitar entre os diferentes níveis de representação da matéria: macroscópico, submicroscópico e simbólico.

Johnstone (1982) foi um dos primeiros autores que propôs um modelo que explicasse esses diferentes níveis de representação. Ao longo dos anos, essas representações passaram por modificações, sendo reorganizadas. Atualmente esses níveis são definidos por Johnstone (2009) como:

- Macroscópico/tangível: parte “observável” por meio dos sentidos e mensurável da Química que pode ser descrita por meio de suas propriedades: cor, odor, densidade, efervescência, etc.;
- Submicroscópico/Molecular/invisível: se refere a como os fenômenos e propriedades observados no primeiro nível são explicados pela Ciência, utilizando conceitos abstratos, tais como: átomos, íons, moléculas, ligações químicas, interação intermolecular de modo a fornecer um modelo para se racionalizar e entender esses fenômenos;
- Simbólico/matemático: forma utilizada pelos químicos para representar as substâncias e transformações por meio de símbolos e equações convencionados pela comunidade científica.

A utilização desses níveis no ensino de Química é inerente ao processo de aprendizagem e as relações entre o macroscópico, submicroscópico e simbólico são essenciais para que o estudante tenha embasamento teórico suficiente para interpretar a natureza e seus fenômenos, bem como para a compreensão do processo de construção da Ciência. Estudos (TORRES et al., 2010; REIS, 2008) revelam que muitos estudantes possuem dificuldades em transitar entre esses três níveis, principalmente se os conceitos envolvidos são abstratos, como é o caso das forças intermoleculares.

Além disso, para que o estudante possa compreender os tópicos supracitados atrelados a sua realidade, ele precisa buscar respostas, à luz do conhecimento científico, para esses

fenômenos, propondo ideias e opiniões sobre os fatos em si e como eles ocorrem. Desta forma, inicia-se a hipótese de um modelo que explique o fenômeno observado que condicione sua interpretação.

A partir do exposto, é possível observar a importância de modelos para o ensino das Ciências. Modelo é um conjunto de ideias, fruto da imaginação e que tenta explicar um fenômeno que é observado. É uma articulação de conceitos, opiniões e ideias sobre algo, na tentativa de entender e interpretar tal acontecimento (REIS, 2008). Desta maneira, tudo indica que, em muitos casos, a utilização de modelos é essencial para o entendimento do sistema em estudo.

Diante da importância destes tópicos para o entendimento do mundo e do cotidiano de uma maneira mais clara e objetiva, algumas pesquisas (REIS e FILHO, 2008; JUSTI, 2006; PAZINATO, 2016) alertam para a forma de como esses conteúdos básicos da Química, estão sendo desenvolvidos na educação de nível médio. É possível destacar que a principal crítica está relacionada ao ensino desses conteúdos de forma desvinculada de contextos sem estabelecer conexão com o cotidiano. Além disso, pesquisas ressaltam, por exemplo Pazinato (2016) que a abordagem destes tópicos é desenvolvida de forma aproblemática e sem a utilização de modelos apropriados que permitam a sua compreensão à luz dos níveis de representação da matéria.

Dentro desta perspectiva, nesta pesquisa, optou-se pelo conteúdo de forças intermoleculares como foco de investigação. A escolha desse tema está vinculada à sua importância em diversos fenômenos do cotidiano, proporcionando aos estudantes transitarem entre os níveis de representação da matéria, bem como que os mesmos evoluam em seus modelos explicativos sobre o conteúdo em questão.

Estes aspectos corroboram com Santos Filho (2007), no que se refere à importância da compreensão dos conceitos de interações intermoleculares, afirmando 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 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).

Desta forma, o conteúdo de interações intermoleculares apresenta-se como ponto chave para a compreensão de propriedades dos materiais, tais como: temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade, além de permear diversos campos do conhecimento alicerçado ao entendimento dos fenômenos do dia a dia. Além disso, de acordo com os documentos oficiais da educação brasileira, o estudante do nível médio deve: compreender as propriedades das substâncias e dos materiais em função das interações entre átomos, moléculas ou íons; compreender os conceitos de temperatura de ebulição e fusão e suas relações com a natureza das substâncias; compreender o conceito de densidade e solubilidade e a sua dependência com a temperatura e com a natureza do material e reconhecer que as aplicações tecnológicas das substâncias e materiais estão relacionadas às suas propriedades (BRASIL, 2006).

Entretanto, muitas pesquisas revelam que o ensino do conteúdo de forças intermoleculares no nível básico não tem atendido a expectativa descrita pelos documentos oficiais no que tange a compreensão destes conceitos. Em termos gerais, alguns resultados destas pesquisas referentes ao processo de ensino e aprendizagem deste conteúdo, apontam:

- As concepções dos estudantes do nível médio estão relacionadas à igualdade das forças intermoleculares com as ligações covalentes intramoleculares ou com grandes forças existentes na rede de um sólido covalente (NAKHLEH, 1992; PETERSON & TREAGUST, 1989);
- Os estudantes apresentam uma visão das interações químicas como entidades físicas (BOO, 1998);
- Ideia de que, para serem formadas, as interações intermoleculares requerem energia e, para serem quebradas, liberam energia (BOO, 1998);
- Os estudantes não conseguem compreender a natureza das interações intermoleculares e como elas realmente atuam num determinado sistema (REIS, 2008);
- Os livros usados no ensino médio tratam desse conteúdo superficialmente, e ainda, muitas vezes, não estabelecem uma sequência coerente com o modelo escolhido e também não há uma contextualização deste conteúdo (REIS, 2008);

- Em muitos casos, os professores não conseguem estabelecer associações entre este tema e acontecimentos do cotidiano do aluno (REIS, 2008);
- O Ensino é ministrado sem o devido questionamento sobre a natureza das diferentes interações ou se elas possuem uma mesma origem, não apresentando valores de energia de interação para efeito de comparação (GILBERT, 1993).

É possível observar, que os resultados das pesquisas mencionadas revelam indícios que o ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares não têm ocorrido de maneira eficiente. Inclusive, é notável que este tópico é potencialmente gerador de concepções alternativas aos modelos científicos por partes dos estudantes. Essas evidências nos despertaram para a necessidade da melhoria do processo de ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares e nos motivaram a elaborar atividades que possam resultar em uma aprendizagem mais ampla e significativa.

Além disso, o conteúdo de forças intermoleculares e suas interfaces constituem um campo conceitual vasto que apresenta distintos significados em contextos específicos das subáreas da química. Desta forma, procurou-se fundamentos teóricos que possam auxiliar na interpretação da evolução conceitual neste tópico, por parte de estudantes do nível médio. Dentro desta perspectiva, a relação entre a epistemologia da ciência e a evolução do conhecimento no contexto escolar tem sido altamente reconhecida por filósofos da ciência, psicólogos, pesquisadores e educadores (CAREY, 1985; DUSCHL e GITOMER, 1994; KITCHENER, 1988; NIAZ, 1998; LABURÚ e NIAZ, 2002; GIL- PÉREZ, 1993; MARTORANO, 2012). Acredita-se que a teoria de Lakatos, em relação ao progresso da ciência, possa fornecer uma ferramenta capaz de investigar a mudança conceitual por parte dos sujeitos investigados.

Segundo Niaz (1998), a epistemologia da Ciência baseada nos pressupostos de Imre Lakatos possui implicações didático-pedagógicas que podem trazer importantes benefícios ao processo de ensino e aprendizagem. Para Lakatos, o progresso da ciência retrata o que ele define como uma metodologia dos Programas de Investigação Científica (PIC). Um PIC é constituído por várias teorias que progressivamente evoluem, sendo que o processo de desenvolvimento da ciência se caracteriza pela competição entre Programas de Investigação rivais. Os PIC se caracterizam por regras metodológicas: “*algumas nos dizem quais são os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais*

são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva)” (LAKATOS, 1971, p. 162).

Um determinado programa é dito como “progressivo” quando prevê fatos novos, ou seja, quando aumenta o poder explanatório/heurístico de alguma teoria. Em contraposição, ele é considerado “regressivo” quando não prevê fatos novos, ou, os prevendo, não são corroborados (SILVA, 2008).

De forma análoga, essa perspectiva no ensino de Química pode ser utilizada para investigar se os modelos explicativos de estudantes do ensino médio formam sequências de transição progressiva (NIAZ, 2001), similares ao que Lakatos, no que se refere ao progresso da ciência, faz referência à “problemática” que aumenta o poder explanatório/heurístico de um determinado modelo ou teoria.

É importante ressaltar que além da utilização do referencial teórico lakatosiano, é possível encontrar na literatura do ensino de Ciências, várias pesquisas que estabelecem analogias ou similaridades com outros referenciais epistemológicos, como por exemplo, cita-se Thomas Kuhn (POSNER et al., 1982), Stephen Toulmin (STIPCICH e TOLEDO, 2001), Paul Feyerabend (LABURÚ e CARVALHO, 2005), entre outras. Estas propostas apresentam como ponto comum o embasamento nos pressupostos construtivistas, o que implica a irrefutável afirmação de que as concepções dos estudantes possuem influência significativa no processo de ensino e aprendizagem.

Desta forma, a intenção, nesta pesquisa, baseada no referencial lakatosiano, consiste em utilizá-lo como ferramenta para acompanhar a construção/evolução do conhecimento científico referente ao tópico de forças intermoleculares, por parte de estudantes do ensino médio.

Diante do exposto, o conteúdo de forças intermoleculares constitui um estudo de vital importância para o entendimento de fenômenos presentes no dia a dia. Entretanto, é possível perceber que o ensino e aprendizagem destes conceitos não são tarefas tão fáceis quanto parecem. Este tópico, tão essencial para a Química, exige do professor um cuidado durante o seu desenvolvimento em sala de aula, principalmente no que se refere à abordagem das teorias, leis e modelos, desta forma, precavendo a distorção de conceitos. No tocante aos alunos, além do esforço pessoal e estudo, a aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares exige uma grande capacidade abstração, bem como a transição entre os níveis de representação da matéria, para que suas concepções possam formar sequências de transição progressiva.

Dentro deste contexto, as questões que guiaram a presente pesquisa foram: **“Como ocorre o ensino e a aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares no nível médio e quais são as tendências atuais das pesquisas desenvolvidas neste campo de estudo”?** e **“Como favorecer a transição progressiva dos modelos explicativos de estudantes de nível médio sobre forças intermoleculares, por meio do desenvolvimento de sequências didáticas, voltadas para uma abordagem diferenciada deste tema”?**

Portanto, a partir destas considerações, os objetivos gerais da presente pesquisa são:

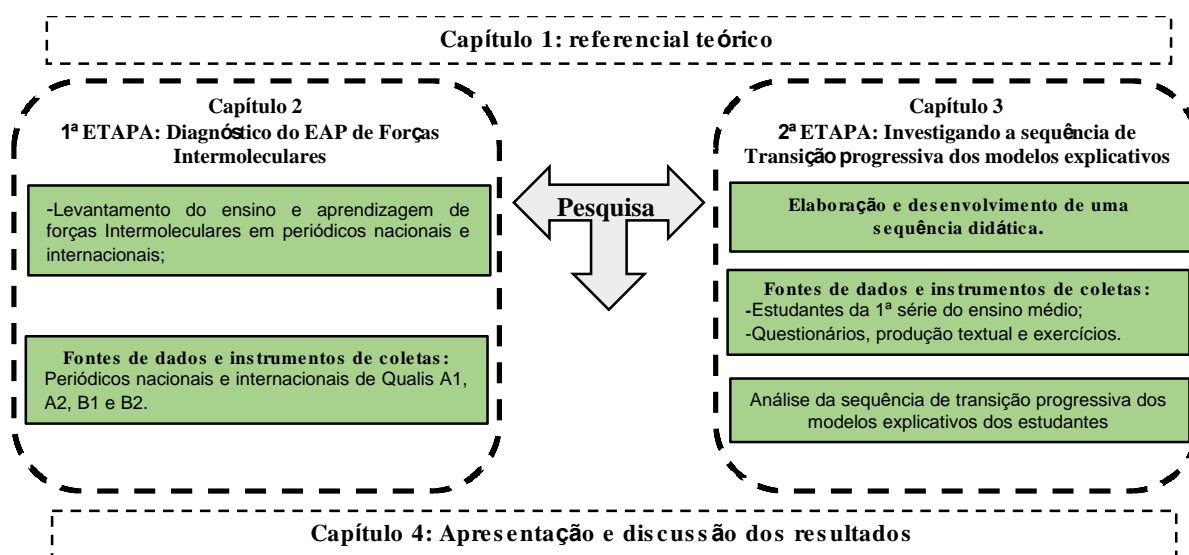
- Realizar um levantamento bibliográfico em periódicos nacionais e internacionais para identificar as principais tendências do ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares;
- Investigar a evolução conceitual, ou seja, como os modelos explicativos de estudantes de nível médio sobre forças intermoleculares formam sequências de transição progressiva, a partir do desenvolvimento de uma sequência didática.

Os objetivos específicos que se pretende realizar são:

- Apontar algumas tendências que marcam os estudos na área do ensino de Química, pontos de vista teórico-metodológicos, bem como principais contribuições e implicações para o ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares em periódicos científicos;
- Elaborar uma sequência didática fundamentada em atividades experimentais investigativas, situações problema e atividades de modelagem;
- Desenvolver o conteúdo de forças intermoleculares por meio da aplicação de uma sequência didática;
- Acompanhar a evolução conceitual dos estudantes por meio de sequências de transição progressiva, embasadas em dois aspectos: conhecimento teórico sobre o assunto e capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria em cada dimensão;
- Avaliar os modelos explicativos dos estudantes em relação ao conteúdo de forças intermoleculares em cada dimensão (1-Natureza das forças intermoleculares, 2-dipolo-dipolo e forças de London e 3-ligação hidrogênio);
- Identificar os modelos explicativos utilizados pelos estudantes na interpretação de problemas à luz das teorias, relacionados com os níveis de representação da matéria;
- Investigar as possíveis contribuições das sequências construídas nesta pesquisa no âmbito da aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares.

A presente tese foi estruturada em capítulos. A Figura 1 apresenta um esquema simplificado desses capítulos.

Figura 1 – Esquema simplificado dos capítulos da tese



Fonte: Autores.

No capítulo 1, **Referencial teórico**, apresenta-se uma revisão sobre os fundamentos teóricos que sustentam as explicações conceituais do tópico de forças intermoleculares, bem como os pressupostos conjecturais da epistemologia de Imre Lakatos. Neste capítulo, também são apresentadas as implicações didático-pedagógicas referentes à utilização do referencial teórico lakatosiano no processo de ensino e aprendizagem das ciências.

No capítulo 2, **1ª etapa, Diagnóstico do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares**, é apresentado um o panorama do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares por meio da análise de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais da área do ensino de Química e Ciências. Serão apresentados os resultados relativos à produção referente ao período de 1991-2015, com destaque para análise da estrutura teórico-metodológica e principais resultados dos artigos, bem como as implicações para o ensino.

O capítulo 3, **2ª etapa, investigando as sequências de transição progressiva dos modelos explicativos**, está intimamente relacionada com a 1ª etapa desta pesquisa e tem como objetivo investigar a evolução conceitual, por parte de estudantes de nível médio, sobre os tópicos relacionados com o conteúdo de forças intermoleculares. Neste capítulo será descrito o contexto que se pretende aplicar a Sequência Didática (SD), bem como os pressupostos teóricos que fundamentaram a elaboração e validação da SD. Será apresentada a descrição completa da SD, contemplando as três unidades didáticas propostas, a saber:

Natureza das interações intermoleculares, Dipolo-dipolo e forças de London e Ligação hidrogênio.

O capítulo 4, **Apresentação e discussão dos resultados**, apresenta-se a análise da construção/evolução do conhecimento pelos sujeitos da pesquisa, baseando-se no referencial epistemológico lakatosiano. Desta forma, pretende-se avaliar se a aplicação da SD contribuiu para a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes investigados, por meio, de dois aspectos: compreensão dos conceitos teóricos referentes ao conteúdo em questão e capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria.

Em seguida, são apresentadas as **Considerações Finais** sobre o estudo desenvolvido e algumas conclusões realizadas a partir dos resultados obtidos.

Por fim, encerra-se a presente tese com a apresentação das referências bibliográficas e dos materiais complementares, tais como: questionários diagnósticos, atividades experimentais, atividades de modelagem, textos base e planilhas de investigação. Esses materiais podem ser consultados nos Apêndices.

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo será destinado a apresentar o alicerce teórico que fundamentou a presente tese. Desta forma, o capítulo está estruturado da seguinte maneira: bases teóricas que sustentam as explicações sobre as forças intermoleculares, bem como suas aplicações no ensino de Química e embasamentos teóricos que sustentam a epistemologia de Imre Lakatos e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem das ciências.

1.1 FORÇAS INTERMOLECULARES

Quando há a aproximação entre átomos, moléculas ou íons podem ocorrer dois fenômenos distintos, uma reação ou uma interação. Em uma reação química ocorre a conversão de uma ou mais substâncias em outras substâncias havendo, geralmente, liberação de energia nesse processo. Uma interação química está relacionada com a atração ou repulsão das moléculas entre si, sem que ocorra quebra ou formação de novas ligações químicas. Nesse caso, têm-se forças intermoleculares e as energias envolvidas nesse processo são, em geral, bem menores que aquelas envolvidas em uma reação química.

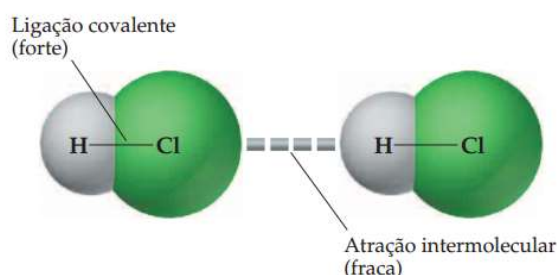
As forças intermoleculares estão intimamente relacionadas com as diversas propriedades de sólidos, líquidos e gases, sendo de extrema importância para a compreensão de sistemas químicos em nível atômico-molecular. Essas forças são responsáveis pela existência de rios, lagos e oceanos. Sem a atração entre as moléculas de água, não haveria a formação de um líquido e conseqüentemente, sem esse líquido, não haveria vida. Desta maneira, as forças entre as moléculas governam as propriedades físicas da matéria e contribuem para explicar as diferenças entre as substâncias presentes no cotidiano, uma vez que são responsáveis pela explicação das propriedades macroscópicas das substâncias e, em especial, no que diz respeito à química da vida. Entender essa interação significa compreender, por exemplo, por que o dióxido de carbono é um gás que exalamos, por que a madeira é um sólido sobre o qual é possível ficar em pé e por que o gelo flutua na água.

Além da atração entre as moléculas, a sua repulsão também é capaz de explicar a descontinuidade da matéria. Mesmo nos gases, as repulsões são importantes porque garantem que as moléculas não passam uma por dentro das outras, mas colidem entre si (ATKINS e JONES, 2015).

Dentro deste contexto, as forças que se estabelecem entre as moléculas são designadas forças intermoleculares. Tal como as forças inter atômica, como as ligações covalentes,

iônicas ou metálicas, são de natureza eletrostática, ocasionadas pela repulsão entre elétrons e atração entre núcleos e elétrons. A Figura 2 ilustra a diferença entre forças intermoleculares e intramoleculares (CHANG, 2010).

Figura 2 – Ligações químicas vs ligações intermoleculares em moléculas de HCl



Fonte: (CHANG, 2010).

Desta forma, as forças inter atômicas estabilizam as moléculas individuais, enquanto as forças intermoleculares são as principais responsáveis pelas propriedades físicas da matéria. Em geral, as forças intermoleculares, são mais fracas do que as forças intramoleculares. A vaporização de um líquido requer muito menos energia do que a quebra das ligações entre os átomos de suas moléculas, sendo necessário, por exemplo, 41 kJ de energia para vaporizar um mol de água à sua temperatura de ebulição, entretanto, é preciso 930 kJ para quebrar as duas ligações O-H de um mol da molécula de água (CANHAM e OVERTON, 2003).

A Tabela 1 mostra a comparação entre a magnitude média das forças intermoleculares e as ligações químicas.

Tabela 1 – Comparação em termos de magnitude média das interações intermoleculares e as ligações químicas

Tipo de interação	Força	Magnitude (kJ/mol)
<i>Ligação Química</i>	Covalente	100-1000
	Iônica	100-1000
<i>Força Intermolecular</i>	Íon-dipolo	1-15
	Dipolo-dipolo	0,1-10
	Dispersão de London	0,1-2
	Ligação de Hidrogênio	10-40

Fonte: (RUSSEL, 1994).

Nesta perspectiva, os pontos de fusão e ebulição normalmente refletem a intensidade das forças intermoleculares existentes entre suas moléculas. No ponto de ebulição, é fornecida

energia suficiente para superar as forças de atração entre as moléculas, de modo que elas possam passar para a fase de vapor. Se for necessária mais energia para romper a interação das moléculas de uma determinada substância A do que de uma substância B, em razão das primeiras possuírem forças atrativas mais intensas, então o ponto de ebulição de A será superior ao de B.

Dentro deste contexto, as forças intermoleculares possuem essencialmente natureza eletrostática. São classificadas em diversas categorias, mas com a mesma origem fundamental. É possível destacar, forças de van der Waals: forças íon-dipolo, dipolo-dipolo, forças de London e ligações hidrogênio, que são resultados dessa classificação. Essas forças são ainda subdivididas em fortes e fracas, e, conseqüentemente, interações a longa e curta distância (RATAJCZAK et al., 1980). Os diferentes tipos de interação estão resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Forças intermoleculares

Tipo de interação	Energia (kJ.mol⁻¹)	Espécies que interagem
Íon-dipolo	15	Íons e moléculas polares
Dipolo-dipolo	0,3~2	Moléculas polares estacionárias e em rotação
London (dispersão)	2	Todos os tipos de molécula
Ligação de Hidrogênio	20	Moléculas que contém ligação N-H, O-H, F-H; a ligação é um átomo de H compartilhado pelas moléculas.

Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

Falar em interação química significa que as espécies se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra a quebra ou formação de novas ligações químicas. Assim, o limite entre uma ligação química e uma interação está associado à sobreposição de orbitais e, conseqüentemente, à sua energia.

Mas qual a origem dessas forças de atração e repulsão? Qual sua relação com a energia e a propriedade das moléculas?

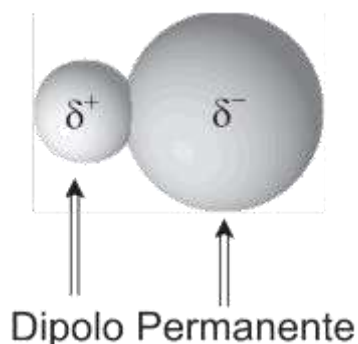
1.1.1 A origem e natureza das forças intermoleculares

O estudo das forças intermoleculares começou há mais de cem anos atrás, em 1873, com a famosa tese de van der Waals. Nas últimas décadas, o conhecimento deste campo tem

se expandido devido a uma intensa pesquisa sobre ambos os seus aspectos teóricos e experimentais. Os resultados desses estudos revelaram que as características dos compostos estão intimamente relacionadas com a natureza das interações existentes entre suas moléculas. Essas interações intermoleculares surgem devido às forças que são essencialmente de natureza elétrica, e fazem com que uma molécula influencie o comportamento de outra molécula em suas proximidades (REIS, 2008).

Segundo Kotz et al. (2005), as forças intermoleculares possuem sua origem em diversas fontes. É possível detectar, por exemplo: dipolo elétrico permanente; grupos funcionais polarizadores, em se tratando de moléculas orgânicas; átomos com diferença significativa de eletronegatividade, momento dipolar e a forma como estes átomos estão arranjados espacialmente são fatores que podem provocar algumas distorções na distribuição da carga elétrica das moléculas, promovendo diferentes tipos de interações entre elas. A formação de dipolo permanente, em que um lado da molécula é ligeiramente mais “positivo” e o outro é ligeiramente mais “negativo”, pode ser observada na Figura 3.

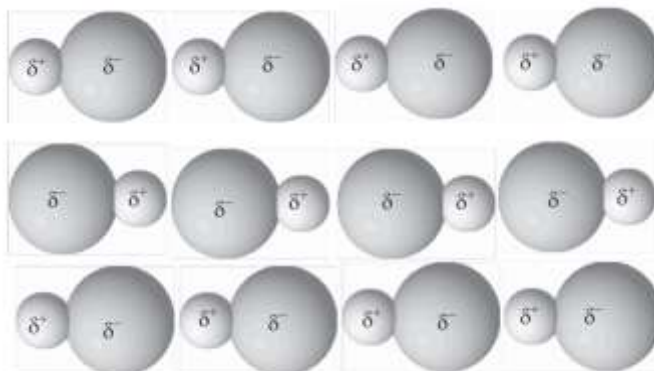
Figura 3 – Formação do dipolo permanente



Fonte: (KOTZ et al. 2005).

Na condição exposta, as moléculas irão interagir umas com as outras por atração eletrostática e se alinharão entre os dipolos de cargas opostas, conforme ilustrado na Figura 4.

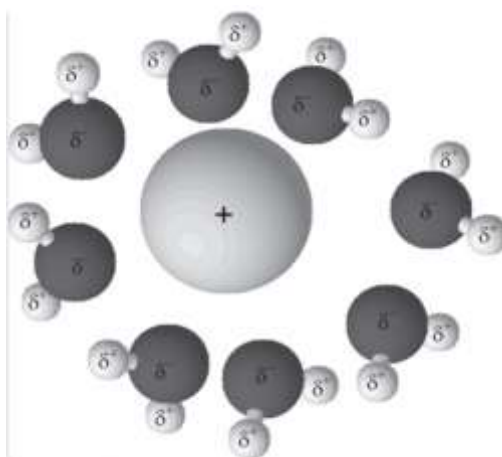
Figura 4 – Interação eletrostática por dipolo permanente



Fonte: (KOTZ et al. 2005).

Em outra situação similar, entretanto, a origem das forças intermoleculares ocorre devido às interações entre uma um íon (espécie carregada) e outra molécula com momento dipolar (Produto entre a magnitude das cargas parciais de uma molécula e a distância pela qual estão separadas), conforme ilustrado na Figura 5.

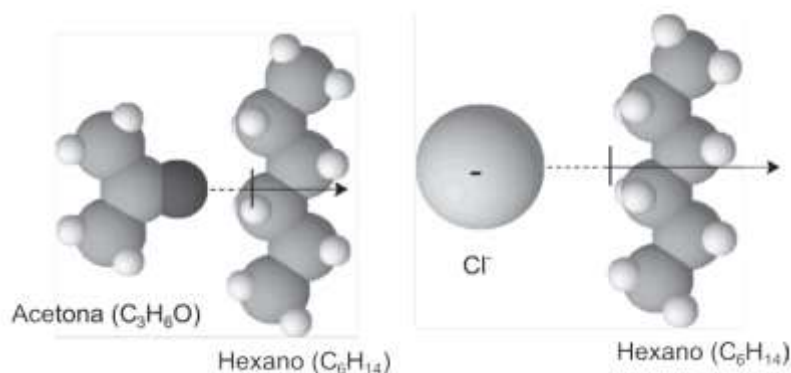
Figura 5 – Origem da interação intermolecular íon-dipolo



Fonte: (KOTZ et al. 2005).

Desta forma, é perceptível que espécies com dipolos permanentes ou carregadas eletricamente provocam a distribuição de cargas das moléculas vizinhas. Esse fato também pode ser constatado em moléculas que não possuem dipolos, ou seja, apolares. Neste caso, a polarização advém de forma induzida, de modo que as interações são originadas por meio da interação de uma molécula que possui um dipolo e outra apolar, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Representação de interações intermoleculares formadas por dipolo-induzido e íon-dipolo



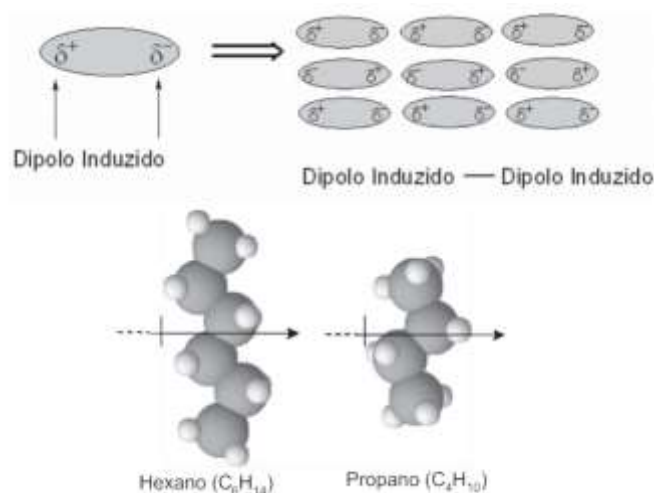
Fonte: (KOTZ et al. 2005).

As interações moleculares também podem ser encontradas em moléculas que não possuem momento dipolo permanente, como o Neônio (Ne) e o Benzeno (C_6H_6). Entretanto, segundo Kotz et al., (2005), a natureza destas forças exige a mecânica quântica para a sua correta descrição. O físico polonês Fritz London elaborou um modelo que relacionava essa força com o movimento eletrônico nas moléculas:

London propôs que, em um determinado instante, o centro de carga negativa dos elétrons e de carga positiva do núcleo atômico poderia não ser coincidente. Facilmente identificamos que o argumento de London estava fundamentado na possibilidade de ocorrer rápidas flutuações eletrônicas nas moléculas apolares, permitindo assim que compostos tipicamente apolares, tal como o benzeno, apresentassem dipolos tempo dependente, mesmo que dentro de um determinado instante a polarização média fosse nula. De acordo com London, estes dipolos instantâneos não poderiam orientar-se para um alinhamento de suas moléculas, mas poderiam induzir a polarização das moléculas adjacentes, resultando em forças atrativas.

A ilustração dos postulados de London pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 – Representação das forças de dispersão originadas por dipolo induzido



Fonte: (KOTZ et al. 2005).

Diante do exposto, é possível detectar que as forças intermoleculares são essencialmente de natureza eletrostática. Além disso, todas as interações inter iônicas e quase todas as interações intermoleculares podem ser atribuídas, em grande parte, às interações coulômbicas entre cargas. A Figura 8 expressa a energia potencial, F , entre duas cargas, Q_1 e Q_2 , separadas por uma distância r (ATKINS e JONES, 2015):

Figura 8 – Equação para cálculo da energia potencial

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

Onde: F = módulo da força coulômbica (N) no SI (Sistema Internacional de Unidades); Q_1 e Q_2 = cargas puntiformes, em módulo, dadas em Coulomb (C) no SI; r = distância de separação das cargas, em metro (m); ϵ_0 = constante de permissividade do vácuo ($\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ J}^{-1}\text{C}^2\text{m}^{-1}$).

Se as cargas possuem o mesmo sinal, então a força coulômbica que atua entre elas é naturalmente repulsiva, ou seja, tende a afastar uma da outra. Quando as cargas possuem sinais contrários, então a força que opera entre elas é atrativa. Neste caso, a força provoca uma aproximação natural das cargas. É importante ressaltar, que essa lei é capaz de explicar os motivos que levam as forças intermoleculares serem mais fracas que as forças

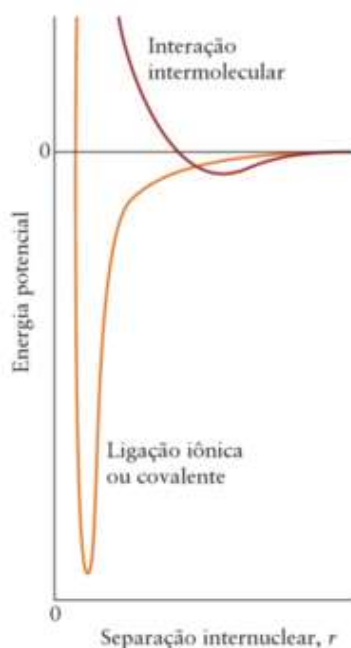
intramoleculares. Na ligação química, há o envolvimento de cargas maiores e mais próximas, já nas interações entre moléculas, as cargas são menores e a distância entre elas, é bem maior.

A Figura 9 mostra o aspecto geral da dependência da energia potencial na interação entre átomos que formam ligações químicas e entre átomos e moléculas que não formam ligações químicas umas com as outras (ATKINS e JONES, 2015). No eixo y (ordenadas), mostra a energia potencial e no eixo x (abscissas), à distância inter-nuclear.

Nas interações atômicas (laranja), a predominância das forças de atração faz com que os átomos se aproximem cada vez mais, diminuindo a energia do sistema, até alcançarem uma distância na qual a energia é mínima, prevalecendo um equilíbrio entre as forças de atração e repulsão, e os elétrons de cada um dos átomos são atraídos igualmente pelos dois núcleos.

Já nas interações intermoleculares (vermelho), os módulos das forças diminuem rapidamente à medida que as distâncias intermoleculares aumentam. Por outro lado, quando as moléculas estão muito próximas umas das outras, elas interagem umas com as outras por forças repulsivas e os módulos dessas forças aumentam rapidamente à medida que diminui a separação intermolecular.

Figura 9 – Diagrama de energia potencial x distância internuclear



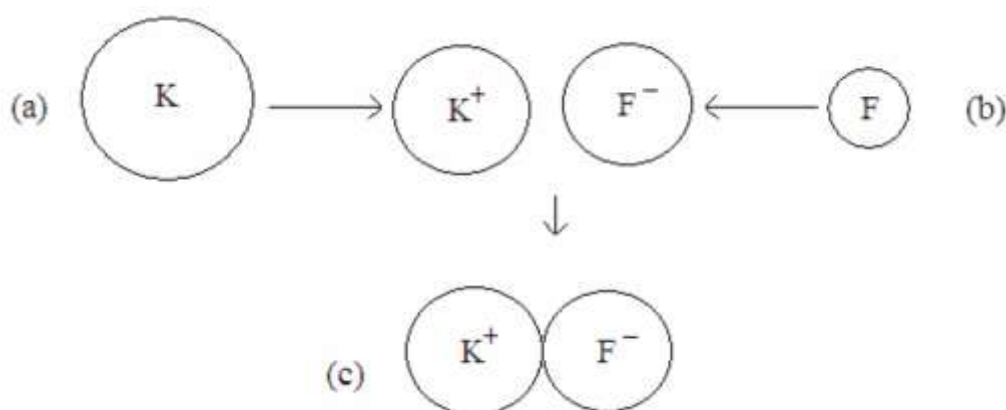
Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

Em ambos os casos, quando diminui a distância inter-nuclear, a energia também diminui. É possível observar que na formação da ligação química, a energia diminui

drasticamente. Já a curva superior mostra que mesmo na ausência da formação de ligação, as forças atrativas diminuem a energia das partículas.

Portanto, no estudo de forças químicas, a distância entre as espécies é imprescindível, visto que, influencia diretamente nos valores de energia potencial de interação, sendo que a distância entre as espécies depende do raio. Dessa maneira, é possível citar um exemplo de interação eletrostática: na aproximação de dois íons, sendo um deles o átomo de potássio (K) e o outro o átomo de flúor (F). Na formação do íon, o potássio tem seu raio diminuído de 227pm para 138pm, e o flúor tem seu raio aumentado de 71pm para 133pm. No entanto, o íon de flúor terá o dobro do tamanho, porém com a mesma carga nuclear. E o íon de potássio terá seu raio diminuído, e também, com a mesma carga. Podemos observar a formação dos respectivos íons e a perturbação entre os íons através da Figura 10.

Figura 10 – Representação da formação dos íons K^+ e F^-



Fonte: (REIS, 2008).

Essa perturbação faz com que o núcleo do íon potássio atrairá os seus elétrons e os elétrons do outro íon também, visto que, mesmo tendo seu tamanho diminuído, a sua carga nuclear se mantém e, desta maneira, continua a exercer atração na mesma região antes de se transformar em íon positivo (K^+). Esta é uma interação física, pois não ocorrem mudanças na natureza das espécies (HUHEEY et al.,1993).

Nesta perspectiva, para o entendimento de todo tipo de interação que ocorre entre as moléculas, é preciso compreender os tipos existentes de forças intermoleculares. Para Myers (1999), essas divisões entre os tipos de forças intermoleculares muitas vezes são úteis, porém podem também levar à confusão. Em muitos casos, adotam diferentes termos e conceitos para enfatizar os diferentes aspectos dessas interações que, na essência, são as mesmas. Por isso a

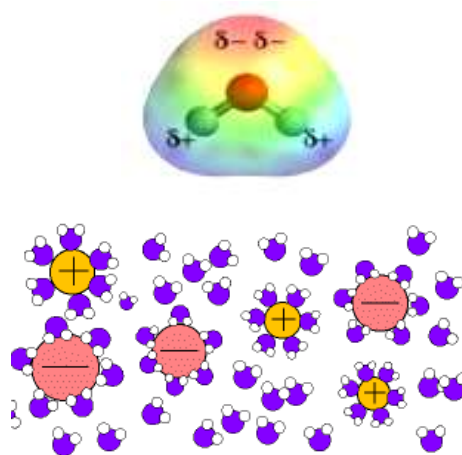
importância de um estudo detalhado destas interações, e, portanto, nos próximos itens, serão abordadas as características dos tipos de forças intermoleculares.

1.1.2 Forças Íon-dipolo

Essas forças aparecem quando se dissolvem sólidos iônicos em água, por exemplo, o cloreto de sódio (NaCl) em H_2O . A carga parcial negativa do átomo de oxigênio (O) atrai o cátion Na^+ e as cargas parciais positivas dos átomos de hidrogênio (H) são repelidas, com isso as moléculas de água se aglomeram ao redor do cátion, com os átomos de oxigênio direcionados para o interior e os átomos de hidrogênio direcionados para o exterior, conforme mostra a Figura 11.

Algo semelhante ocorre com os ânions (Cl^-), que atraem as cargas parciais positivas do hidrogênio da molécula de água. A interação entre as moléculas de água e os íons é conhecida como hidratação (Figura 11). Trata-se de uma interação do tipo “íon-dipolo”, pois envolve a atração eletrostática entre íons do soluto (NaCl) e as cargas parciais das moléculas polares da água (H_2O).

Figura 11 – Ilustração do fenômeno da hidratação



Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

A lei de Coulomb também explica as forças íon-dipolo, que como visto, ocorrem entre um íon, seja um cátion ou um ânion e uma molécula polar. A intensidade dessa interação depende da carga, do tamanho do íon, do momento dipolo e do tamanho da molécula. A

energia potencial coulômbica da interação entre a carga completa de um íon e as duas cargas parciais de uma molécula polar, pode ser conferida pela equação na Figura 12:

Figura 12 – Equação para cálculo da energia potencial em uma molécula polar

$$E_p \propto \frac{-|z|\mu}{r^2}$$

Fonte: (ATKINS e JONES, 2015)

Onde, Z é a magnitude da carga do íon e μ é o momento dipolo elétrico da molécula polar. O sinal negativo denota que a energia potencial do íon decresce pela interação com o solvente polar. O fator $1/r^2$ significa que a interação entre o íon e o dipolo depende mais fortemente da distância do que uma interação entre dois íons, que possuem fator $1/r$ e, portanto, tem um alcance menor. Como resultado, as moléculas polares necessitam estar próximas a um íon – quase em contato – para que a interação seja significativa.

É importante ressaltar, que mesmo quando a molécula e o íon estão muito próximos, as interações íon-dipolo são mais fracas do que a interação entre dois íons, pois a molécula polar somente possui cargas parciais e desta forma, um íon atraído pela carga parcial de um lado da molécula é repelido pela carga oposta parcial do outro lado e os dois efeitos se cancelam parcialmente.

A cristalização de sais a partir de uma solução aquosa, pode favorecer a formação de hidratos sólidos como $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, por exemplo. Isso acontece por que os íons podem reter algumas das moléculas de água de hidratação. Desta forma, o tamanho do íon e sua carga controlam a extensão da hidratação. A força intermolecular íon-dipolo é mais intensa quando o valor de r é pequeno, ou seja, quando o dipolo está mais próximo do centro do íon. Assim, por causa das interações íon-dipolo mais fortes, os cátions menores atraem as moléculas polares de H_2O mais fortemente do que os cátions maiores e, como resultado os cátions com menor raio iônico são hidratados mais extensamente. O Lítio e o Sódio normalmente formam sais hidratados, entretanto os elementos, Potássio, Rubídio e Césio, que possuem cátions maiores, não possuem essa tendência (KOTZ et al., 2005).

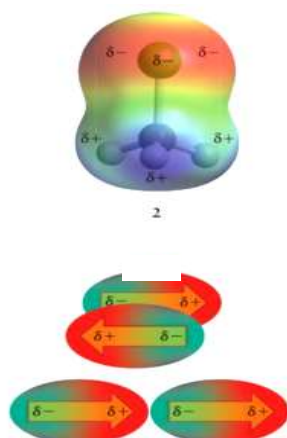
Desta forma, a força intermolecular íon-dipolo são fortes para íons pequenos com carga elevada, em consequência, os cátions pequenos com carga elevada formam, frequentemente, compostos hidratados.

1.1.3 Interações dipolo-dipolo

As interações dipolo-dipolo são forças atrativas entre moléculas polares, isto é, entre moléculas que possuem momento dipolar. A força das moléculas polares está relacionada ao campo elétrico, sendo que sua densidade eletrônica é distorcida. Quando um campo elétrico é criado por um par de terminais carregados, o lado negativo da molécula será atraído pelo terminal positivo e o lado positivo da molécula pelo terminal negativo. A extensão com que as moléculas se alinham com o campo depende do chamado momento dipolar, μ , o qual é definido com o produto da magnitude das cargas parciais (δ^+ e δ^-) e a distância que separa as cargas (SHRIVER e ATKINS, 2003).

Para discutir este tipo de força intermolecular, é possível citar o mapa de potencial eletrostático da molécula de cloro metano CH_3Cl , que podemos observar o potencial eletrostático negativo localizado no átomo de cloro e o potencial eletrostático positivo no grupo metila. Sabe-se que o cloro metano é um gás em condições ambientes, porém condensa a -24°C e congela a -97°C . Assim, quando essa substância se encontra no estado sólido, presume-se que a orientação da molécula coloque a carga parcial negativa de um átomo Cl próxima à carga parcial positiva dos átomos de H presentes em uma molécula vizinha, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Moléculas polares em um sólido atraindo-se pela interação entre as cargas parciais de seus dipolos elétricos



Fonte: (ATKINS e JONES, 2015, p. 174).

A Figura 13 ilustra que as moléculas polares atraem umas às outras por interação entre as cargas parciais, que são representadas pelas setas. Ambas as orientações relativas

mostradas (enfileiradas ou lado a lado) resultam em uma força atrativa de baixa energia. A origem dessas forças também é de natureza eletrostática e pode ser entendida em termos da lei de Coulomb, quanto maior for o momento dipolo, maior será a força, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Equação para cálculo da energia potencial

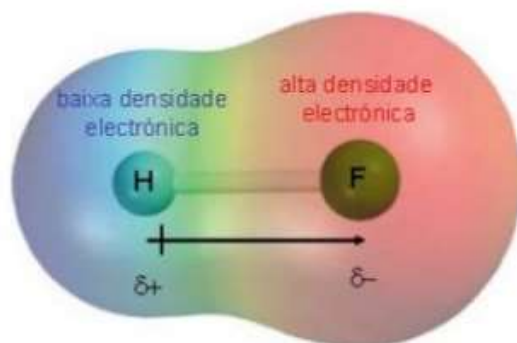
$$E_p \propto \frac{-\mu_1 \mu_2}{r^3}$$

Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

Na Figura 14, μ_1 e μ_2 são os momentos dipolares permanentes das moléculas não rotativas que estão interagindo entre si. A energia potencial resultante varia com o cubo da separação entre as moléculas e diminui mais rapidamente com a distância (r) do que a energia potencial de forças íon-dipolo. Além disso, essa interação é fraca, pois resulta da atração eletrostática entre cargas opostas parciais. Assim, quanto maior a polaridade da molécula, mais fortes serão as interações.

Para melhor entender a formação do momento dipolo, considere uma molécula de ácido clorídrico, que contém um átomo de hidrogênio e um átomo de cloro unidos por ligação covalente polar. Desta forma, a região de maior probabilidade de encontrar densidade de elétrons situa-se próximo ao átomo de cloro. A distribuição desigual dos elétrons, no orbital molecular, é equivalente a uma separação de cargas, sendo que o núcleo de hidrogênio tende a ser mais “exposto”, de tal maneira que esta parte da molécula tem uma carga elétrica parcial positiva (δ^+). Em contrapartida, a parte da molécula referente ao núcleo de cloro, está carregada com uma carga parcial negativa (δ^-). Essas condições resultam na existência de um momento de dipolo na molécula de HF (MAHAN e BRUCE, 2010), conforme ilustrado na Figura 15.

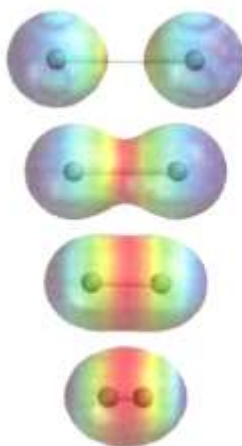
Figura 15 – Orbital molecular do HF e a formação de um momento de dipolo



Fonte: (MAHAN e MYERS, 1997).

Dentro deste contexto, uma molécula que apresenta momento dipolo é denominada polar, enquanto que uma molécula de hidrogênio (H_2), em que as cargas se encontram igualmente distribuídas (Figura 16), é denominada de apolar, pois possui uma simetria na distribuição de cargas, ou seja, as cargas estão igualmente distribuídas no orbital molecular.

Figura 16 – Orbital molecular do H_2 e distribuição simétrica das cargas



Fonte: (MAHAN e BRUCE, 2010).

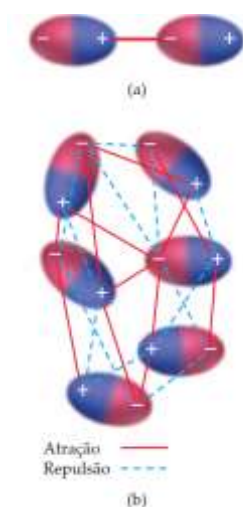
Desta forma, o momento dipolar do hidrogênio é zero, pois os elétrons estão igualmente distribuídos no orbital molecular, resultando em uma molécula apolar.

O grau de alinhamento mútuo dos dipolos é quem governa a extensão da atração intermolecular. As forças dos dipolos são bastante dependentes da temperatura, pois o alinhamento é contrabalançado pela agitação térmica. As moléculas polares, dependendo da

maneira como estão orientadas, vão sofrer atração (ou repulsão) das moléculas polares vizinhas.

Na fase líquida, as moléculas polares estão livres para movimentar-se em relação às outras. Como mostrado na Figura 17, elas estarão algumas vezes em uma orientação que é atrativa e outras em uma orientação que é repulsiva.

Figura 17 – Interação eletrostática no estado condensado



Fonte: (RATAJCZAK e THOMAS, 1980).

Nos gases, durante a rotação das moléculas, as interações atrativas entre cargas parciais opostas superam levemente as interações repulsivas entre cargas parciais idênticas. Desta forma, as moléculas na fase gasosa estão em rotação livre e, na maior parte do tempo, estão muito distantes, de forma que qualquer força intermolecular entre elas é muito fraca. No entanto, na fase líquida, as moléculas estão muito mais próximas e as interações são muito maiores do que na fase gasosa e, portanto, as interações dipolo-dipolo são mais fortes. Como muita energia é necessário para separar as moléculas com atrações fortes entre elas, conseqüentemente, as substâncias que possuem elevada interação, entram em ebulição em temperaturas mais altas.

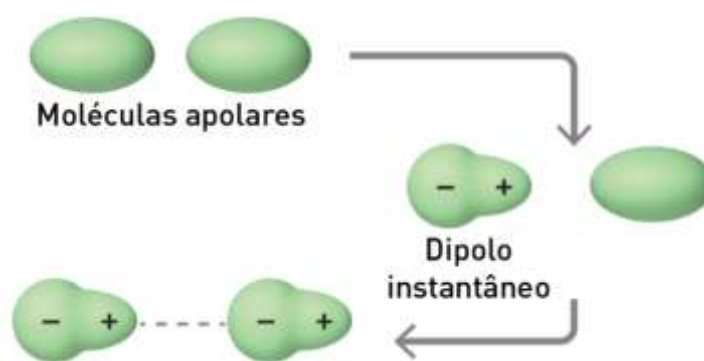
Dentro deste contexto, é possível concluir que as moléculas polares participam de interações dipolo-dipolo, que decorrem da atração entre as cargas parciais de suas moléculas. A força intermolecular dipolo-dipolo é mais fraca do que as interações entre íons e íons-dipolo, além disso, a intensidade de sua força diminui rapidamente e significativamente, à medida que aumenta a distância, especialmente nas fases líquida e gasosa, em que as moléculas estão em constante rotação (ATKINS e JONES, 2015).

1.1.4 Forças de Dispersão de London

Em 1930, London desenvolveu um modelo referente o tratamento mecânico quântico que permitiu uma maior compreensão desta força. Neste tipo de interação, duas espécies se aproximam, sem que haja uma superposição entre as mesmas, ocorre apenas uma perturbação de uma sobre a outra, ou seja, uma espécie é atraída pela densidade eletrônica da outra espécie, e o contrário também ocorre. Essas forças são decisivas em fenômenos como condensação de moléculas não polares, ponto de ebulição de compostos, tensão superficial, adsorção e adesão, lubrificação e interações de polímeros sintéticos, proteínas e outros complexos sistemas biológicos (JEFFREY, 1997).

A Força de London é uma característica de todas as moléculas. Entretanto, para moléculas apolares neutras é a única força existente. Compostos apolares não apresentam momento de dipolo elétrico (μ). Momentaneamente, a densidade dos elétrons de uma molécula apolar pode ser espacialmente assimétrica, gerando o chamado dipolo instantâneo. Esse dipolo instantâneo é formado pela aproximação de outra molécula, em que as forças de atração entre o núcleo de uma molécula e os elétrons da outra e as forças de repulsão entre os elétrons das duas moléculas provocam a formação do chamado dipolo induzido (CANHAM e OVERTON, 2003). Esse dipolo induzido possibilita que moléculas vizinhas sofram atração eletrostática mútua, através dos pólos de cargas opostas. Entretanto, as forças entre os dipolos induzidos possuem curta duração, desfazendo-se num ponto da substância e formando-se em outro ponto, constantemente, conforme ilustrado na Figura 18.

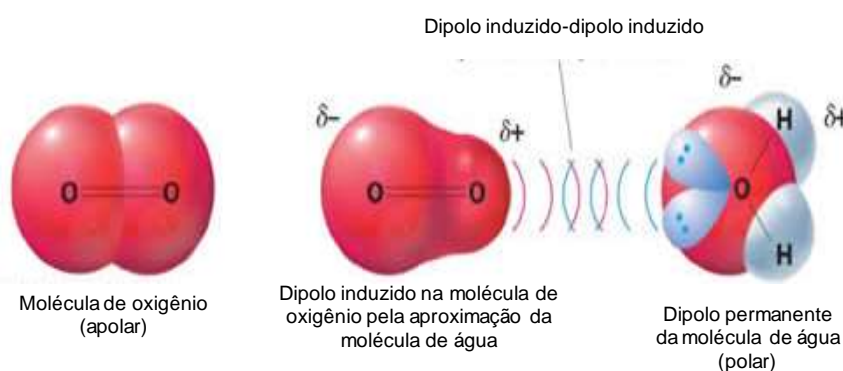
Figura 18 – Distorção eletrônica causada pela aproximação entre duas moléculas apolares



Fonte: (CANHAM e OVERTON, 2003).

Além disso, quando há a aproximação entre um íon ou uma molécula polar e uma molécula apolar, a distribuição eletrônica da molécula apolar é distorcida pela força exercida pelo íon ou pelo composto polar, resultando em um tipo de dipolo. Esse dipolo é denominado dipolo induzido, pois a separação das cargas positivas e negativas na molécula apolar deve-se à proximidade de um íon ou outra molécula polar. A interação atrativa entre um íon e o dipolo induzido chama-se interação íon-dipolo induzido e a interação atrativa entre uma molécula polar e o dipolo induzido designa-se de interação dipolo-dipolo induzido, conforme pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 – Formação do dipolo induzido



Fonte: (FOGAÇA, 2017).

Um exemplo de forças intermoleculares entre moléculas polares e apolares ocorre entre o gás oxigênio (apolar) e a água (polar). Acontece que a extremidade negativa da água se aproxima do O_2 , se repelindo e, assim, a nuvem eletrônica da molécula apolar se afasta. O oxigênio fica, então, momentaneamente polarizado e passa a interagir com a água

A probabilidade de um momento dipolo ser induzido depende da polarizabilidade do átomo, íon ou molécula. Isso significa dizer que depende da facilidade com que a distribuição eletrônica do átomo pode ser distorcida. Geralmente, a polarizabilidade aumenta proporcionalmente ao tamanho e difusão da nuvem eletrônica. Desta forma, a polarizabilidade, está associada à capacidade de distorção da nuvem eletrônica de um átomo, molécula ou íon. Assim, quanto maior o raio atômico, raio covalente ou raio de Van der Waals, mais polarizável será a espécie química e mais facilmente será a formação de dipolos induzidos. Diante do exposto, é possível concluir que o aumento na polarizabilidade aumenta o caráter polar da espécie, aumentando a força de interação de London. Esse fator pode explicar, por exemplo, a variação nos pontos de ebulição dos halogênios (Tabela 2).

Tabela 2 – Ponto de ebulição e comprimento de ligação dos Halogênios

Halogênios	P. E. (°C)	Comprimento da ligação
F ₂	-188,1	142pm
Cl ₂	-34,6	199pm
Br ₂	58,8	228pm
I ₂	184,4	268pm

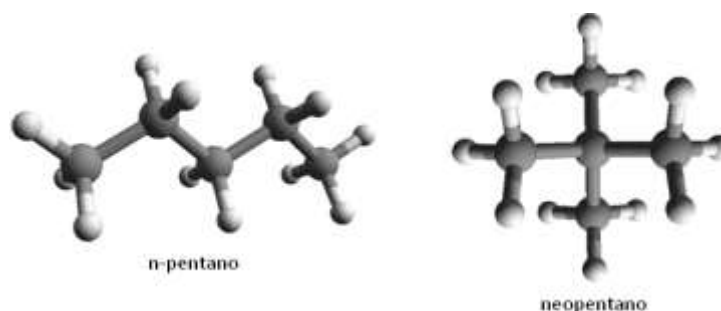
Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

Também é possível explicar o porque dos halogênios, grupo 17 da tabela periódica, possuem átomos que formam moléculas gasosas, líquidas e sólidas. As moléculas de flúor e cloro, por exemplo, em temperatura ambiente, são gasosas. Já o Bromo e o Iodo, são respectivamente, líquidos e sólidos. Assim, o número de elétrons das moléculas ao longo do grupo cresce, logo a polarizabilidade e, conseqüentemente, as interações de London também aumentam à medida que o raio atômico cresce. Desta forma, a polarizabilidade de uma molécula tende, em regra, a ser alta quando as moléculas possuem muitos elétrons. Isto se deve ao baixo controle que os núcleos possuem sobre uma grande quantidade de elétrons em moléculas com altos valores de raios atômicos. Conseqüentemente, as moléculas grandes, que possuem um maior número de elétrons, possuem interações de London mais acentuadas que as moléculas pequenas.

Além disso, por exemplo, apesar da molécula de ácido clorídrico (HCl) apresentar um momento dipolo elétrico maior do que o ácido bromídrico (HBr), devido a maior eletronegatividade do cloro, o ponto de ebulição do HBr, -67 °C, é mais elevado que o ponto de ebulição do HCl que corresponde a -84,9 °C. Desta forma, apesar das interações dipolo-dipolo no HCl serem mais intensas que no HBr, o bromo por possuir um maior raio atômico, é mais polarizável e produz uma força de London mais intensa que a do ácido clorídrico, explicando seu maior ponto de ebulição.

Além dos fatores mencionados relacionados à formação e eficácia das interações de London, também é importante considerar a influência da forma espacial da molécula, ou seja, a geometria molecular influencia diretamente a capacidade de interação entre as mesmas e, conseqüentemente, a capacidade de formação dos dipolos induzidos. O *pentano* e o *2,2 dimetil propano (neopentano)*, por exemplo, são isômeros de cadeia e conseqüentemente, possuem a mesma forma molecular (C₅H₁₂) e a mesma quantidade de elétrons (Figura 20). Entretanto, esses dois compostos possuem pontos de ebulição diferenciados, 36°C e 10°C, respectivamente.

Figura 20 – Molécula de pentano e neopentano



Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

A explicação para esse fato reside nas diferentes geometrias espaciais destas moléculas. A molécula do pentano é alongada, o que possibilita uma interação mais forte entre as cargas parciais instantâneas de moléculas vizinhas. Como resultado, as substâncias constituídas de moléculas de cadeia linear (ou alongadas) apresentam geralmente forças de London mais fortes que as de cadeia ramificada (ou esféricas) contendo o mesmo número de elétrons. Logo, apresentam – em regra – maiores pontos de fusão e ebulição.

A energia potencial das interações de London depende da polarizabilidade (α – alfa), de modo que, moléculas muito polarizáveis são aquelas em que a carga do núcleo tem pouco controle sobre os elétrons circundantes, talvez porque os átomos sejam volumosos ou por que os elétrons de valência sejam blindados efetivamente pelos elétrons interiores (ATKINS, 2015). Desse modo, A energia potencial da interação de London varia com a sexta potência da distância de separação entre as moléculas, conforme representado pela Figura 21.

Figura 21 – Equação para cálculo da energia potencial da interação de London

$$E_p \propto \frac{-\alpha_1 \alpha_2}{r^6}$$

Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

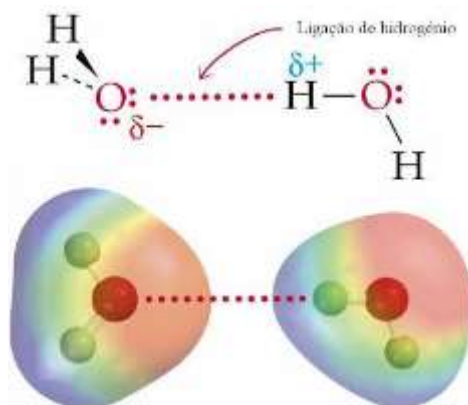
Pela equação da Figura 21, é possível observar que a energia de London diminui com a distância. Além disso, o fator “polarizabilidade” exerce uma influência marcante na formação e intensidade das forças de London, resultante da capacidade das moléculas sofrerem “polarização”. A “polarizabilidade (α)” de uma molécula tende a ser grande quando as moléculas contêm muitos elétrons.

1.1.5 Ligação Hidrogênio

As interações de London se aplicam a todas as moléculas, independente de sua identidade química. Do mesmo modo, as forças dipolo-dipolo dependem somente da polaridade das moléculas, não de sua identidade química. Entretanto, existe um tipo de interação intermolecular muito forte que é específica para moléculas que possuem certos tipos de átomos (ATKINS e JONES, 2015).

A ligação hidrogênio é um tipo de força intermolecular, forte por natureza, e que é específica para moléculas polares. Quando há uma ligação covalente entre um átomo de Hidrogênio e átomos que possuem baixo raio atômico e alta eletronegatividade, como o oxigênio, flúor e nitrogênio, forma-se um dipolo permanente de magnitude elevada. Pode-se afirmar que este fenômeno ocorre devido à nuvem de eletrônica ficar mais deslocalizada ao redor desses átomos mais eletronegativos, deixando o átomo de hidrogênio com carga parcial positiva (MAHAN e MYERS, 1997). Como resultado, teremos a formação de uma forte interação (a ligação H) resultante da atração entre o par isolado (do O ou F ou N) e a carga parcial do átomo de H, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Ligação Hidrogênio

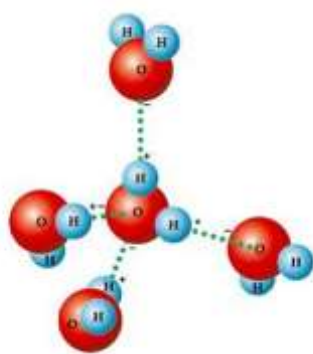


Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

No caso específico da água, a ligação hidrogênio ocorre quando uma molécula de H_2O se aproxima de outra (Figura 23). Sabe-se que a ligação O-H é polar, e desta forma, o átomo de Oxigênio, que é altamente eletronegativo, atrai fortemente os elétrons da ligação, deixando o átomo de hidrogênio mais eletropositivo. Levando em consideração que o H é um átomo pobre em elétrons e é muito pequeno, ele pode se aproximar facilmente, com sua carga parcial

positiva, de um dos pares de elétrons isolados do átomo de O de outra molécula de H₂O. O par isolado de elétrons e a carga parcial positiva atraem-se fortemente formando a ligação hidrogênio (ATKINS e JONES, 2015).

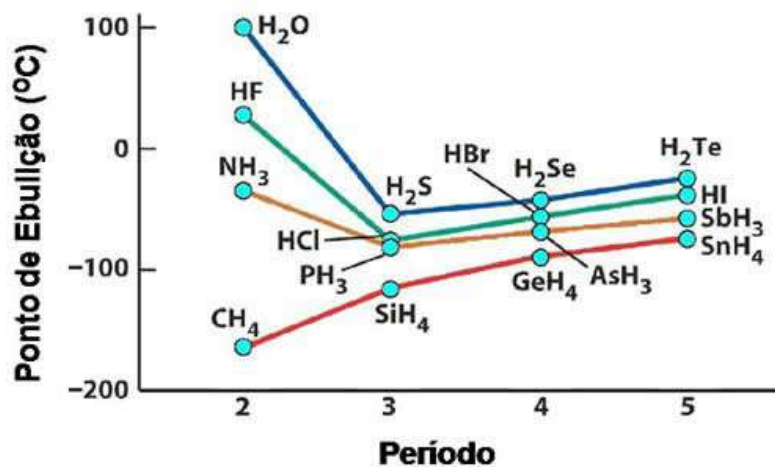
Figura 23 – Ligação Hidrogênio na molécula de água



Fonte: (ATKINS e JONES, 2015).

Diante do exposto, para comprovar a força das ligações hidrogênio, pode-se comparar os pontos de ebulição de compostos de hidrogênio (Figura 24) de elementos pertencentes aos grupos 14, 15, 16 e 17 da tabela periódica. Em regra, o ponto de ebulição aumenta de acordo com o aumento da massa molecular, devido ao aumento das forças de dispersão. Essa regra é observada nos pontos de ebulição dos compostos de hidrogênio pertencentes ao grupo 14 (CH₄ < SiH₄ < GeH₄ < SnH₄). O composto mais leve, CH₄, é também o que apresenta o menor ponto de ebulição e o SnH₄, composto de maior massa molecular, apresenta o ponto de ebulição mais elevado. Entretanto, a notável exceção a essa tendência são os grupos 15, 16 e 17 que em cada uma dessas séries, os compostos com massas moleculares menores (NH₃, H₂O e HF) são os que apresentam os pontos de ebulição mais elevados. Esta observação indica que as atrações intermoleculares nas moléculas de NH₃, H₂O e HF são mais intensas dos que as outras moléculas dos seus grupos, portanto, seu ponto de ebulição elevado, sugere a presença de forças atrativas muito fortes entre as moléculas. (CHANG, 2010).

Figura 24 – Comparação dos pontos de ebulição de várias substâncias de um mesmo grupo da Tabela Periódica



Fonte: (LAWRENCE e HOLME, 2009).

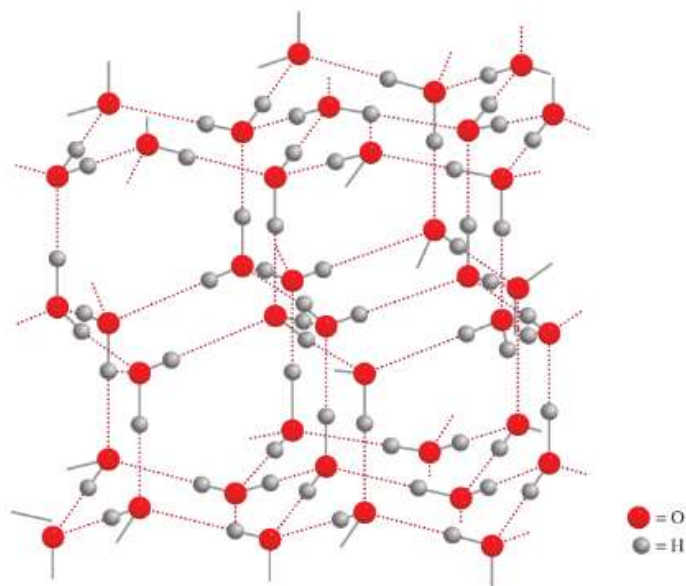
É possível constatar que na ebulição da água, aproximadamente 2/3 do valor da vaporização da água são gastos no rompimento da ligação hidrogênio. O ponto de ebulição da água, conforme mencionado acima é fora dos padrões normais devido ao elevado número de ligações hidrogênio presentes. Já a molécula de HCl não possui uma forte ligação hidrogênio por causa do elevado tamanho do átomo de cloro. Entretanto, a molécula de HF possui uma forte ligação hidrogênio devido ao pequeno tamanho do átomo de flúor e a alto caráter eletronegativo do mesmo.

Além disso, é possível encontrar notáveis consequências da ligação hidrogênio, quando, por exemplo, as densidades do gelo e da água são comparadas. Em muitos compostos, as moléculas presentes no sólido são mais densamente empacotadas do que no líquido, gerando uma fase sólida mais densa que a fase líquida. Entretanto, a densidade do gelo a 0°C é 0,917g/ml e a da água líquida é 1,00g/ml, de forma que o gelo flutua na água líquida (LAWRENCE e HOLME, 2009).

A estrutura tridimensional altamente ordenada do gelo (Figura 25) impede que as moléculas se aproximem uma das outras. No processo de fusão do gelo, algumas moléculas de água possuem energia cinética suficiente para romperem as ligações hidrogênio intermolecular, permanecendo presas nas cavidades da estrutura tridimensional que se rompe, formando pequenos agregados. Esse processo resulta em uma quantidade maior de moléculas por unidade de volume na água líquida do que no gelo. Desta forma, sabendo que a densidade é igual à massa/volume, a densidade da água líquida é maior do que a do gelo. À medida que o aquecimento aumenta, cresce o número de moléculas que se libertam das ligações de

hidrogênio, de modo que a densidade da água tende a aumentar com a elevação da temperatura acima do ponto de fusão (CHANG, 2010).

Figura 25 – Estrutura tridimensional do gelo



Fonte: (CHAN, 2010).

Na estrutura tridimensional do gelo, cada átomo de oxigênio está ligado a quatro átomos de hidrogênio. As ligações covalentes estão representadas por traços curtos sem pontilhados e as ligações hidrogênio, mais fracas, estão representadas por linhas pontilhadas mais compridas entre o oxigênio e o hidrogênio. As cavidades na estrutura são responsáveis pela baixa densidade do gelo.

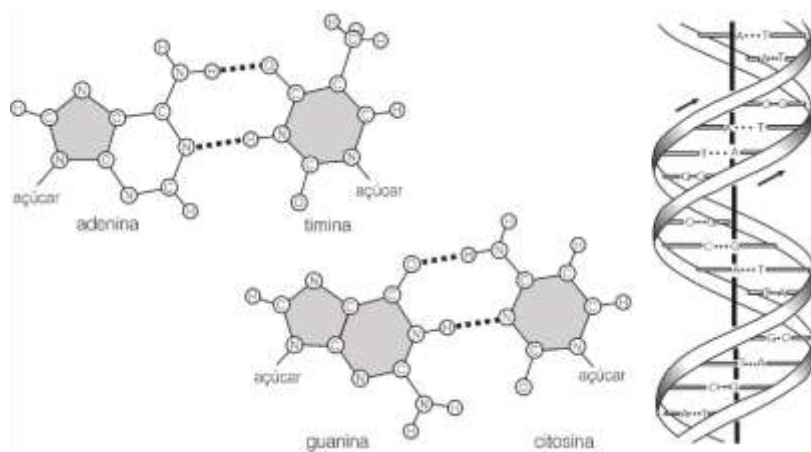
Dentro deste contexto, a menor densidade do gelo comparada com a da água líquida afeta profundamente a vida na Terra. Como o gelo possui menor densidade, ele flutua e cobre a superfície da água quando um lago congela no clima frio, isolando a água abaixo. Se o gelo fosse mais denso que a água, o gelo formado na superfície de um lago afundaria e o lago congelaria totalmente. A maior parte da vida aquática não sobreviveria sob essas condições. Assim, as ligações hidrogênio são responsáveis pela alta capacidade térmica da água, e em parte essa é a razão dos lagos e oceanos terem um enorme efeito no clima.

As ligações de hidrogênio possuem um importante papel na manutenção da vida. A seguir serão apresentadas algumas aplicações e a importância desta interação química para as explicações macroscópicas dos fenômenos atrelados ao cotidiano.

1.1.5.1 DNA - Ligações hidrogênio que explicam a vida

A primeira evidência de um modelo explicativo para a molécula de DNA foi proposta por Watson e Crick em 1953. Eles perceberam que a molécula de ácido desoxirribonucleico (DNA) possuía uma estrutura de dupla hélice, constituída por uma pentose, grupos fosfatos e bases nitrogenadas heterocíclicas e distintas, tais como a adenina e a guanina (bases purinas), timinas e citosinas (bases pirimidinas). A Figura 26 apresenta o modelo de DNA proposto por Watson e Crick.

Figura 26 – Modelo de hélice dupla para o DNA, proposto por Watson e Crick



Fonte: (FARIAS, 2001).

É possível afirmar que a molécula de DNA é um conjunto de interações químicas entre diferentes espécies. Entretanto, o destaque é para as ligações hidrogênio que são as principais responsáveis pelo complexo processo de replicação, bem como pela uniformidade de sua estrutura ou por eventuais erros que causam mutações genéticas. A ligação hidrogênio é responsável pela estabilidade da molécula de DNA, preservando o código genético ao longo de sua extensão (REIS, 2008).

Para chegar a representação reconhecida do ácido desoxirribonucleico, foram realizados experimentos baseados na difração de raio-X (BERG et al., 1996). Os pares de bases ficam na parte interna da dupla hélice e a cadeia de açúcar/fosfato, na parte externa. O diâmetro da dupla hélice é de aproximadamente 20 Å e o comprimento pode ser de milhares de angstroms, sendo que em sua constituição aparecem grupos fosfatos mantidos entre sucessivos grupos de açúcar, neste caso uma pentose (desoxirribose) e uma das quatro bases nitrogenadas heterocíclicas citadas (LEHNINGER et al. 2005).

É no DNA que toda a informação genética de um organismo é armazenada e transmitida para seus descendentes. Essa carga genética está contida no núcleo e todas as células de um organismo. O duplo filamento de DNA só existe porque os pares de bases nitrogenadas são unidos por meio de ligações hidrogênio, ou seja, somente há vida devido à existência dessas interações.

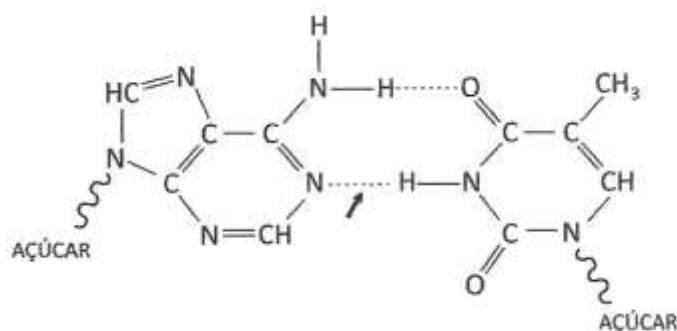
Na Figura 26, é possível observar que na base citosina, existem três sítios propícios a estabelecerem ligações hidrogênio com outra base nitrogenada, bem como na estrutura da base guanina. Quando ocorre a aproximação desses dois filamentos que se complementam, acarretará um conjunto de forças de atração e repulsão entre os pares das bases envolvidos, gerando uma perturbação (REIS, 2008). Na aproximação desses átomos, que por sua vez possuem determinada densidade eletrônica em sua região, apresentarão mudanças que alteram a estrutura do filamento duplo.

Dentro deste contexto, no pareamento das bases nitrogenadas, é preciso que ocorra uma compensação energética, de forma que se não houvesse essa “situação energeticamente favorável”, o sistema não estabeleceria interações intermoleculares (BERG et al. 1996).

Tendo como respaldo o modelo eletrostático para as interações intermoleculares, e em específico, neste caso, para a ligação hidrogênio, é possível pensar em uma combinação de orbitais atômicos dos átomos envolvidos presentes na base nitrogenada (RATAJCZAK, 1980). A interação de espécies por ligação hidrogênio acarreta um abaixamento de energia do HOMO (orbital molecular mais alto ocupado) e um aumento de energia do LUMO (orbital molecular mais baixo vazio), atribuindo uma estabilidade energética quando comparada à situação das bases nitrogenadas antes de estabelecerem esse tipo de interação. Com esse abaixamento pronunciado de energia entre HOMO e LUMO, é possível afirmar que existe uma compensação energética na interação intermolecular, garantindo a estabilidade da molécula de DNA (REIS, 2008).

No DNA, a ligação hidrogênio se estabelece quando há o pareamento dos átomos de nitrogênio e oxigênio, ocasionando uma distribuição desigual da densidade eletrônica, pois esses átomos são as espécies mais eletronegativas, atraindo, desta forma, a densidade eletrônica para suas regiões do espaço, deixando o hidrogênio desprotegido. Esse hidrogênio ao se aproximar de outro átomo eletronegativo presente no filamento complementar, ocorrerá uma vibração que provocará a formação da interação de hidrogênio (Figura 27).

Figura 27 – Pareamento das bases nitrogenadas evidenciando a formação da interação de hidrogênio



Fonte: (REIS, 2008).

Apenas uma ligação hidrogênio não possui energia suficiente para estabilizar a molécula de DNA, entretanto, uma fita do ácido nucléico apresenta um número elevado dessas interações entre várias espécies, proporcionando a estabilidade da molécula (ATKINS e JONES, 2015).

1.1.5.2 Interações de hidrogênio na ação anticoagulante

Anticoagulantes são as substâncias responsáveis pelo impedimento da formação de trombos, ou seja, coágulos no sangue. É muito comum a administração desse medicamento na prevenção e combate a trombose, que é a coagulação do sangue de forma enferma nos vasos sanguíneos, bem como prevenção a embolia pulmonar, infarto do miocárdio e acidentes vasculares cerebrais em pessoas que são predispostas. Essas enfermidades são causadas pela formação de coágulos de sangue e podem ser evitadas com o uso de anticoagulantes. Como a interação de hidrogênio participa do processo de anticoagulação?

A ligação do princípio ativo de uma droga ou medicamento com seu receptor é efetivada por interações eletrostáticas, forças de van der Waals e a ligação hidrogênio. Além disso, a disposição dos grupos funcionais deve ser conhecida, uma vez que a direção das interações intermoleculares do receptor-substrato precisa ser determinada. Desta forma, o conhecimento da natureza destas interações intermoleculares assume notável importância (REIS, 2008).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (IPOBE), nos anos de 2008 a 2015, houve um aumento significativo de pessoas que procuraram hospitais públicos do país para tratar de tromboembolismo venoso. Por essas e outras razões, há, nos últimos anos, um crescente interesse no desenvolvimento de novas drogas antitrombóticas

com efeitos anticoagulantes de inibição da trombina, para bloquear o início da coagulação. (OLIVEIRA e FRANCO, 2016).

A trombina é composta por 295 aminoácidos que formam duas cadeias de polipeptídios, unidas por uma ponte simples de bissulfeto, possuindo três sítios funcionais. Os medicamentos antitrombóticos utilizados possuem dois inibidores baseados na 4-amino-piridina (4AP) e um na naftamidina (MAFFEI e ROLLO, 2001).

Neste contexto, as evidências e observações quanto à seletividade do inibidor 4-amino-piridina protonado para trombina, indicaram a formação da interação de hidrogênio C-H---O com alguns sítios da trombina e com moléculas de água. Segundo Oliveira e Franco (2001), a reação entre a molécula do inibidor e a trombina só ocorre pelo fato de existirem diversas ligações hidrogênio. Além disso, essas interações são fundamentais na ação do inibidor do sítio ativo de uma molécula de trombina e no processo de coagulação sanguínea.

É importante ressaltar que a interação entre as moléculas de trombina e do anticoagulante envolvem outros tipos de interações, tais como hidrofóbicas e forças de van der Waals. No entanto, em algumas conformações adotadas pela molécula da trombina, bem como a reação em seus sítios funcionais, as ligações hidrogênio atuam como protagonistas no processo anticoagulante do sistema interagido.

1.1.5.3 A sensação do sabor doce e as ligações hidrogênio

O paladar, bem como os outros sentidos, está ligado às necessidades como sede, fome, emoção e memória. Existem milhares de moléculas que podem evocar uma grande variedade de sabores, interagindo com receptores sensoriais e levando a informação ao encéfalo para ser interpretada.

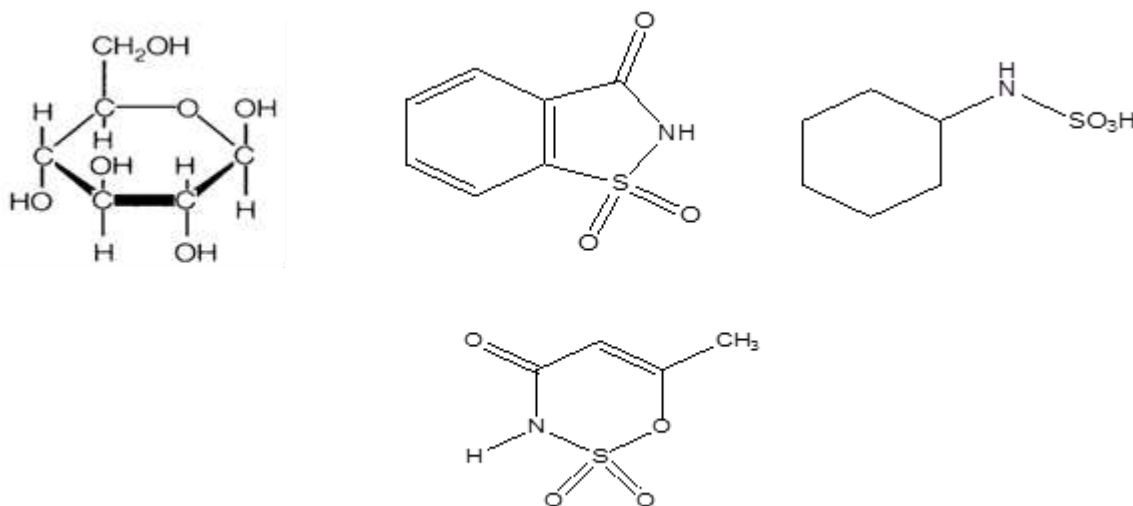
O ser humano consegue sentir o sabor simplesmente porque possuem mecanismos biológicos diretamente envolvidos com as fracas interações químicas entre receptores presentes nos botões gustativos, que são grupos proteicos. Desta forma, qualquer sensação começa com um estímulo, no caso da sensação de sabor, este estímulo ocorre quando uma molécula de um composto que evoca sensação de sabor interage com receptores proteicos. Esta interação gera um impulso levado ao cérebro cujos neurônios traduzem e transformam o estímulo em sensação (RETONDO e FARIA, 2009).

Dentro deste contexto, é possível atribuir à sensação do sabor um fenômeno de reconhecimento químico, pois estudar este sentido fornece subsídios para aplicar as leis da proporção definida, equilíbrio químico, balanço de massas, estereoquímica, teoria de grupo e

termodinâmica. Além disso, as ligações hidrogênio possuem uma importante função, principalmente quando o fenômeno ocorre em meio aquoso, visto que, as moléculas de água são diferenciadas por estabelecerem esta peculiar interação (REIS, 2008). Desta forma, é possível afirmar que as ligações hidrogênio são decisivas no comportamento das moléculas que evocam sabor, bem como no comportamento no substrato que agem como receptor.

Para compreender esse fenômeno é importante, primeiramente conhecer a estrutura de alguns compostos que evocam essa sensação. A Figura 28 apresenta a estrutura química de algumas moléculas que evocam o sabor doce.

Figura 28 – Estruturas químicas de alguns compostos que evocam o sabor doce



Fonte: Autores.

Através da análise da Figura 28, observa-se que a estrutura das moléculas parece ser muito diferente, entretanto, todas elas provocam a sensação do sabor doce. Isso ocorre devido ao fato de apresentarem uma característica em comum, que é possuírem grupos eletronegativos presentes em suas cadeias. A glicose possui várias hidroxilas próximas umas das outras. A molécula de Sacarina possui um grupo eletronegativo $-SO_2$ próxima a um grupo-NH, que também pode ser observado na molécula do ácido ciclâmico e na molécula de acessulfame (RETONDO e FARIA, 2009).

O grupo eletronegativo dessas moléculas pode realizar ligação hidrogênio com um hidrogênio ligado a um átomo eletronegativo, bem como o hidrogênio ligado a um átomo eletronegativo pode realizar uma ligação hidrogênio com outro átomo eletronegativo. As moléculas que evocam o sabor doce fazem ligações hidrogênio com os receptores da língua.

Isso por que os receptores presentes na língua possuem proteínas que têm em suas estruturas grupos que apresentam átomos eletronegativos ligados ao hidrogênio, tal como o –N-H, bem como átomos eletronegativos, como o oxigênio (RETONDO e FARIA, 2009).

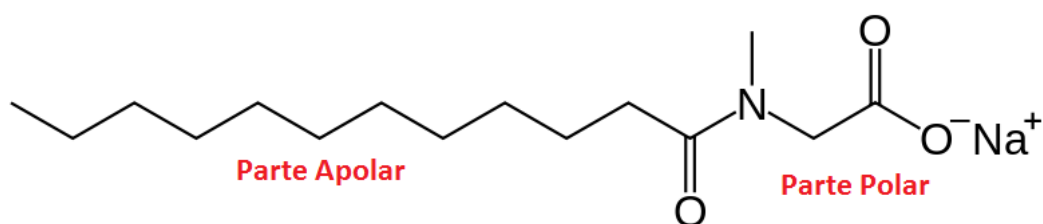
1.1.5.4 Fenômenos relacionados à tensão superficial

A tensão superficial é a quantidade de energia necessária para esticar ou aumentar em uma unidade a área da superfície de um líquido (CHANG, 2010). O tamanho da superfície de contato é diretamente proporcional a magnitude das forças intermoleculares presentes nos líquidos. Desta forma, a água, em virtude da existência de ligações hidrogênio, possui tensão superficial consideravelmente mais elevada do que a maioria dos líquidos comuns.

Esse fenômeno é capaz de explicar o motivo de um inseto pairar sob a água de um lago e não afundar. Tal habilidade de flutuação deve-se à alta tensão do líquido, proporcionada pela formação de uma rede de ligações hidrogênio entre as moléculas de água que estão interagindo. Entretanto, em superfícies poluídas por tensoativos, por exemplo, não se observa este tipo de fenômeno.

Os tensoativos são compostos capazes de alterar as propriedades interfaciais e superficiais de um líquido, enfraquecendo a sua tensão superficial. Essas substâncias atuam desta maneira devido a características específicas de sua estrutura, a qual é composta por uma parte polar (hidrofílica) e uma parte apolar (hidrofóbica), conforme apresentado na Figura 29.

Figura 29 – Exemplo de um tensoativo



Fonte: Autores.

Desta maneira, a parte polar interage com as moléculas da água, diminuindo a intensidade e a quantidade das ligações hidrogênio, e desta forma, enfraquecendo a tensão superficial do líquido. Além disso, os agentes poluidores supracitados elevam a temperatura da água, acarretando consequências como, por exemplo, o decréscimo da tensão superficial do líquido. À medida que há elevação da temperatura, o número de ligações hidrogênio também

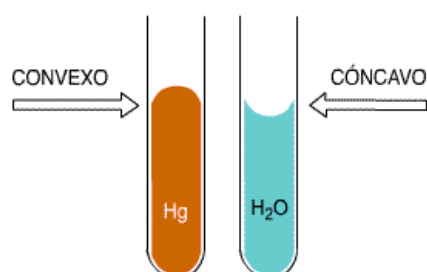
diminui, acarretando o enfraquecimento das interações eletrostáticas de hidrogênio e consequentemente, diminuição da tensão superficial.

Outro exemplo de tensão superficial é a ação capilar ou capilaridade. Este fenômeno é decorrente da formação de ligações hidrogênio e ocorre quando um fino filme de água se adere às paredes de tubos capilares (MASSI et al, 1993).

Há dois tipos de forças responsáveis pela ação capilar. A força de coesão, que é responsável pela atração entre moléculas semelhantes e a força de adesão, que é a atração intermolecular entre moléculas diferentes. Quando o líquido utilizado possui fraca adesão pelo material da parede do capilar e possui alta força de coesão entre suas moléculas, o líquido dentro do tubo retrai-se das paredes, acarretando a concavidade do menisco voltada para baixo. Esse comportamento é típico do mercúrio, uma vez que suas forças coesivas são superiores à adesão pelo vidro (REIS, 2008).

Já para a água líquida, o menisco em vidro capilar possui concavidade voltada para cima, pois suas forças de adesão aos sítios polares do tubo são mais fortes, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Formação do menisco para o mercúrio (Hg) e para a água líquida



Fonte: (REIS, 2008, p. 119).

A ação capilar também fornece uma interessante explicação para a condução de xilema das raízes de plantas até o caule e folhas. As paredes internas dos tubos condutores de xilema são polares, e desta forma, possuem muitos sítios para formarem ligações hidrogênio com a seiva elaborada. Auxiliado pela evaporação dos estômatos das folhas, o xilema é conduzido das raízes até o topo, mesmo em árvores muito altas (SILVERSTEIN, 1998).

Desta maneira, é notável que as forças intermoleculares são as interações responsáveis por diversos fenômenos que acontecem no cotidiano. A sua formação ou sua ruptura são decisivos na ocorrência de fatos relacionados à tensão superficial da água, à ação capilar, manutenção da vida, entre muito outros (REIS, 2008).

Nesta primeira seção, buscou-se apresentar uma síntese das principais ideias sobre forças intermoleculares. O objetivo desse referencial é fornecer um suporte teórico para análise das possíveis sequências de transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes sobre o conteúdo em questão. Desta maneira, na próxima seção será apresentada uma breve revisão sobre a metodologia dos programas de investigação científica, baseados nas ideias de Imre Lakatos.

1.2 IMRE LAKATOS E A TRANSIÇÃO PROGRESSIVA

A filosofia da ciência possui diversas implicações pedagógicas que podem trazer reflexos importantes no processo de ensino e aprendizagem em Química. Desta forma, apresentaremos os fundamentos da teoria Lakatosiana, bem como sua relação com a construção do conhecimento químico por parte dos estudantes. Além disso, procura-se identificar aspectos que corroboram com a evolução conceitual dos modelos explicativos, uma vez que, a evolução dos modelos, que geralmente consiste em transições progressivas, pode estar relacionada ao entendimento manifestado pelos estudantes sobre os conceitos específicos de um determinado conteúdo teórico, no caso do presente projeto, com os conceitos de forças intermoleculares.

1.2.1 A epistemologia de Imre Lakatos

A epistemologia de Imre Lakatos (1922-1974) se evidenciou como uma das mais importantes reflexões da cultura científica do século XX, interrompida prematuramente com sua morte, em 1974. Na década de 60, Lakatos saiu da Hungria por motivos políticos e entrou em contato com a filosofia de Karl Popper:

Minha dívida pessoal com ele é imensa: mudou minha vida mais que nenhuma outra pessoa (...). Sua filosofia me ajudou a romper, de forma definitiva, com a perspectiva hegeliana que eu havia retido durante quase vinte anos, e, o que é ainda mais importante, me forneceu um conjunto muito fértil de problemas, um autêntico programa de pesquisa" (LAKATOS, 1989; p.180).

A ideia sobre o desenvolvimento da ciência proposta por Lakatos baseia-se nas reflexões que guiam os caminhos da racionalidade científica. A reconstrução dos pressupostos sobre a ciência, proposta por Lakatos foi inovadora, tornando-se um crítico experiente e uma referência sobre as discussões científicas no século XX e XXI. Além disso, Lakatos em seus

trabalhos evidenciava as inconsistências sobre os alicerces da ciência moderna, uma vez que, ao longo dos séculos XVII e XVIII, a ciência se desenvolvia sustentada no empirismo e indutivismo. Lakatos define essas teorias como sendo a identificação dos conhecimentos por meio do conhecimento provado somente através de observações (LAKATOS, MUSGRAVE, 1970).

Além das críticas ao empirismo, Lakatos também constatou a incapacidade metodológica apresentada pelo falsificacionismo popperiano. Popper desenvolveu o falsificacionismo para combater a proposta do indutivismo, defendendo que: apesar de um enunciado singular não ser suficiente para provar um enunciado universal, este pode ser capaz de demonstrar que um enunciado universal seja falso. Por exemplo, dada uma situação singular hipotética de que um único cisne preto na floresta amazônica falseia o enunciado universal “todos os cisnes são brancos”.

O principal problema da tese de Popper, e que foi incisivamente criticada por Lakatos, é que seu processo dedutivo de falsificacionismo não esclarece ou até mesmo não fornece uma refutação clara de uma determinada teoria. Nessa abordagem, há sempre a possibilidade de que a teoria esteja correta e que algum outro detalhe da experiência foi responsável pelo resultado negativo. Desta forma, para Popper a ciência progride por tentativa e erro, por conjecturas e refutações. Apenas as teorias mais adaptadas sobrevivem, embora nunca se possa dizer legitimamente de uma teoria que ela é verdadeira, pode-se dizer que é melhor do que qualquer coisa que veio antes (CHALMERS, 1993).

Nesta perspectiva, Popper poderia estar certo em sua insistência de que as teorias científicas deveriam ser submetidas a testes rigorosos, entretanto, ele exagerou em insistir que a prática da ciência é um processo dedutivo de eliminação (LAKATOS, 1989).

Mesmo percebendo os limites da teoria popperiana, Lakatos propõe a reconstituição da proposta falseacionista, inviabilizada pelas críticas kuhnianas, além de recusar a visão da ciência e de seu desenvolvimento proposta pelo mesmo. Dentro deste contexto Imre Lakatos desenvolveu sua descrição da ciência como uma tentativa de melhorar o falsificacionismo popperiano, bem como superar as objeções a ele.

Para Lakatos, o cientista não abandona uma teoria simplesmente por que ela é falseada, ao contrário, o cientista faz o possível para mantê-la, reanalizando-a de modo a transformá-la em evidências que corroboram com sua teoria. Além disso, Lakatos considera que é desejável que haja teorias em competição. Para ele, a ciência não é a história de teorias sucessivas, mas de teoria concorrentes:

A história das ciências tem sido, e deve ser, uma história de programas de investigação competitivos (ou, se quiserem, de paradigmas), mas não tem sido, nem deve vir a ser, uma sucessão de períodos de ciência normal: quanto antes se iniciar a competição, tanto melhor para o progresso. Com suficiente habilidade, qualquer teoria pode defender-se progressivamente durante longo tempo, inclusive se é falsa. (LAKATOS, 1971, p. 69).

Segundo Lakatos, a melhor maneira de começar [o jogo da ciência] “não é com uma hipótese falseável, mas com um programa de investigação” (LAKATOS, 1971, p. 111).

A “Metodologia dos Programas de Investigação Científica”, de Imre Lakatos, consiste basicamente de um núcleo duro, cinturão protetor e heurísticas, as quais fornecem orientação para a pesquisa futura de uma forma tanto positiva quanto negativa. A heurística negativa são regras que guiam as direções que a pesquisa precisa evitar. Desta forma, é uma metodologia que não permite o ataque direto ao núcleo do programa de investigação. Já a heurística positiva são as regras que a pesquisa precisa seguir, é composta por uma pauta geral que indica como pode ser desenvolvido o programa de investigação científica. Lakatos (1971) afirma que a heurística positiva apresenta um programa imerso em uma cadeia de modelos explicativos, ou seja, um conjunto de condições iniciais, as quais poderão ser substituídas à medida que se eleva a complexidade dos fenômenos estudados. Este desenvolvimento de modelos leva a uma progressão de teorias cada vez mais aperfeiçoadas (MION e ANGOTTI, 2005).

O núcleo duro de um programa é a hipótese teórica geral que constitui a base da qual o programa deve se desenvolver, reunindo os pressupostos básicos, essenciais e fundamentais para a sua existência. O abandono desse núcleo duro é o que causa a mudança de programa. Por exemplo, o núcleo duro da astronomia Copernicana seriam as suposições que a terra e o planeta orbitam um sol estacionário e que a terra gira em seu eixo uma vez por dia. Ou o núcleo duro na física Newtoniana é composto das leis do movimento de Newton e a sua lei da atração gravitacional.

O Cinturão protetor são as hipóteses auxiliares que protegem o núcleo duro. Segundo Lakatos (1998), é esse cinto de proteção de hipóteses auxiliares que tem que suportar o impacto dos testes e ir se ajustando e reajustando, ou mesmo ser completamente substituído, para defender o núcleo assim fortalecido.

Para exemplificar, o Quadro 2 apresenta as componentes dos Programas de Investigação Científica (PIC) atual para os atuais conceitos de forças intermoleculares.

Quadro 2 – Programa de Investigação científica atual para forças intermoleculares

Componente	Definição	Programa de investigação para Forças Intermoleculares
<i>Núcleo Duro</i>	Modelo que explica as interações intermoleculares	Modelo quântico, Interações eletrostáticas em que uma espécie é atraída por outra ou vice-versa por atrações coulômbicas.
<i>Cinturão Protetor</i>	Atributos (hipóteses auxiliares) que justificam a existência das forças intermoleculares.	Polaridade das moléculas, solubilidade dos sais e ponto de ebulição das substâncias.
<i>Heurística Positiva</i>	Questões que orientam o desenvolvimento do programa	- De que maneira interações eletrostáticas coulômbicas explicam a natureza das forças intermoleculares? - Como as forças intermoleculares explicam as diferenças na polaridade, solubilidade e ponto de ebulição das substâncias?

Fonte: Autores.

É importante ressaltar que o Quadro 2 apresenta um programa de investigação atual, ou seja, são conceitos que são aceitos atualmente pela comunidade científica, pois conforme Lakatos argumenta, um programa de investigação científica (teoria) pode ser progressivo, quando aumentar o poder explanatório/heurístico do programa, caso contrário, será degenerativo, podendo ser substituído por outro com maior poder explicativo. Por exemplo, na década de 20, o núcleo duro do PIC de Forças intermoleculares, segundo o modelo proposto por Linus Pauling (1928), era centrado na polaridade e ionização do ponto de vista da Teoria de Valência. Desta forma, a eletroafinidade era utilizada para explicar algumas propriedades apresentadas por certas substâncias, como a solubilidade de sais e a formação de complexos em soluções.

Ainda na década de 20, segundo modelo proposto por Lewis (1928), o núcleo duro da teoria supracitada foi substituído pela explicação relacionada ao núcleo do hidrogênio preso entre dois dubletes para formar uma ligação fraca. Naquela época, ainda não se discutia orbital, pois a teoria quântica ainda estava sendo desenvolvida. Além disso, Lewis, que já conhecia a teoria de ligação de valência, afirmou que o hidrogênio (possui um orbital disponível), era incapaz de formar mais que uma ligação covalente pura, o que implicaria que outras interações seriam somente de natureza eletrostática.

Já em 1936, Huggins (1936) estabeleceu que o núcleo duro do PIC sobre forças intermoleculares era composto por explicações que relacionavam a fatores como forças de van der Waals, polaridade e efeito estérico para explicar as propriedades das substâncias.

Além disso, inseriu na comunidade científica o conceito de “Pontes de Hidrogênio”, afirmando que a existência dessas pontes era suficiente para justificar determinadas características dos compostos orgânicos.

No entanto, ao longo de extensivos estudos, que culminou com o desenvolvimento do modelo mecânico-quântico, foi observado que várias características das interações que os compostos estabelecem entre si, não iam ao encontro de explicações relacionadas à proposta de um modelo puramente eletrostático. Desta forma, conforme observado, ao longo dos anos as teorias foram progressivamente aumentando o poder heurístico de seus modelos. Hoje, ainda em constante transformação, a teoria aceita cientificamente até o momento está relacionada com explicações que utilizam o modelo quântico e atrações eletrostáticas coulômbicas.

Dentro deste contexto, a avaliação de um programa de investigação é realizada à medida que as teorias ou modelos se apresentam na direção do progresso ou da degeneração:

Diz-se que um programa de investigação é progressivo sempre que o seu crescimento teórico antecipe seu crescimento empírico, ou seja, enquanto continue predizendo fatos novos com certo êxito (mudança progressiva do problema); considera-se que um programa está estancado quando seu crescimento teórico está defasado em relação com seu crescimento empírico, ou seja, enquanto somente ofereça explicações post hoc, seja de descobrimentos acidentais ou de fatos previstos por outro programa rival (mudança degenerativa do programa). Quando um programa de investigação explica progressivamente mais que outro rival, o supera, então o rival pode ser eliminado ou armazenado (LAKATOS, 1970, p. 30).

A competição entre diferentes programas é responsável em desenvolver ou evoluir o quadro teórico da explicação científica. O Programa progressivo é aceito pela comunidade científica, enquanto que o programa degenerativo, segundo Lakatos (1998), cairá em desuso, devido à incapacidade demonstrada em explicar novos fatos, em erguer uma teoria coerente.

Desta forma, a avaliação é desenvolvida por meio da comparação ou competição entre programas. Segundo Lakatos (1971), se P_2 [P= Programa de Investigação Científica] progride é devido ao fato da lentidão do progresso de P_1 , já que P_2 antecipará alguns fatos novos mais rapidamente que P_1 . O fato é que P_1 sem P_2 poderia ser progressivo, entretanto, a competição com P_2 , o coloca em degeneração (LAKATOS, 1971).

Dentro deste contexto, na perspectiva de um PIC, uma teoria será normalmente abandonada por uma teoria que apresente o poder explicativo melhor que sua antecessora. Uma teoria é melhor do que outra se apresentar conteúdo empírico excedente ou se tiver maior poder heurístico (explanatório). Por exemplo, uma teoria sintática X será melhor que uma teoria sintática Y, ambas pertencendo ao mesmo programa de investigação, se X explicar

e correlacionar mais fatos que Y. Desta forma, o verdadeiro teste da progressão de uma teoria está em sua capacidade de prever fatos novos, bem como de aumentar o poder heurístico do modelo.

Segundo Niaz (2001), isto sugere que o desenvolvimento do progresso da ciência pode ser caracterizado como uma “problemática progressiva” de uma tentativa teórica para outra. Esses fatos corroboram com as ideias de Neto:

Para Lakatos, o conhecimento cresce e isso todos podemos ver, seja qual for à noção de verdade e de realidade que assumimos; o importante não é que haja conhecimento, mas que haja crescimento: nós sabemos mais hoje do que sabíamos no passado e certamente saberemos mais no futuro do que sabemos hoje. Podemos reconhecer alguns casos que obviamente (para Lakatos) exibem o crescimento do conhecimento; precisamos, no entanto, de uma metodologia de análise que nos diga em que consiste esse crescimento, em que outros casos há crescimento e em que casos não há. Com os resultados dessa análise, obteremos um critério de demarcação entre atividade racional e irracionalismo: será racional a atividade que leve ao crescimento do conhecimento. Tudo isso deve ser feito sem referência à noção de verdade (o conhecimento cresce, mas não nos aproximamos necessariamente da verdade) (NETO, 2010, p. 4).

Diante do exposto, baseando-se nos pressupostos Lakatosianos, serão avaliados os modelos explicativos sobre forças intermoleculares de estudantes do nível médio, procurando verificar se esses modelos formam sequências de transição progressiva (NIAZ, 1998; MARTORANO, 2102), similares ao que Lakatos refere-se a “problemática” que aumenta o poder explanatório ou heurístico do modelo. A evolução dos modelos, que geralmente consistem em transições progressivas, pode estar relacionado ao entendimento manifestado pelos estudantes sobre os conteúdos específicos de uma determinada teoria em estudo. Para isso, pretende-se analisar as concepções/modelo dos estudantes durante o período de aplicação de uma sequência didática. Desta forma, a seguir serão apresentadas algumas implicações didático-pedagógicas da inserção dos pressupostos epistemológicos lakatosianos no processo de ensino e aprendizagem.

Contudo, é necessário ressaltar que o processo de ensino assim estruturado a partir de detalhes específicos da epistemologia de Lakatos limita-se a uma analogia que precisa ser mais bem discutida. É impossível afirmar uma transferência automática da epistemologia dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente escolares, pois este é um ambiente totalmente diferente do científico. Em relação a isso, Laburú, Arruda e Nardi (1998) afirmam que:

As experiências realizadas em classe se aproximam muito mais de experiências cruciais em que Lakatos especifica modelos monotéoricos (Lakatos, 1970, p. 158)

do que o que ele propõe como modelos pluralísticos de teste, em que várias teorias, mais ou menos dedutivamente organizadas, estão soldadas uma nas outras. Não mais do que uma analogia, ou aproximação, categorizar as concepções alternativas dos alunos em programas. Mais ainda, se as experiências realizadas em classe tendem a se tornar cruciais, há, então, uma incompatibilidade com as reflexões de Lakatos, pois, sua interpretação da história da ciência revela que é somente por meio de uma longa visão retrospectiva que se denomina uma experiência de “crucial”. É somente quando um programa de pesquisa, assim chamado progressivo, ao possuir um excesso de conteúdo empírico comparativamente com outro (assim degenerativo), possui uma corroboração de seu conteúdo empírico adicional. Em situação real de sala de aula procura-se encurtar (muito) esse processo. Além do mais, Lakatos enfatizou que, na ciência, o núcleo de um programa se desenvolve lentamente por um processo preliminar longo de tentativa e erro e não emerge completamente armado como ‘Atenas na cabeça de Zeus’. Contrariamente, no processo de ensino, o professor é o possuidor do conhecimento científico, assim como os livros. Por isso, as novas concepções estão disponíveis. Podem ser apresentadas para os alunos, surgindo muito mais rápidas do que na atividade científica.

1.2.2 Epistemologia de Imre Lakatos e o processo de ensino e aprendizagem em Ciências

A epistemologia da Ciência baseada nos pressupostos de Imre Lakatos possui implicações didático-pedagógicas que podem trazer importantes benefícios ao processo de ensino e aprendizagem. Desta forma, com o objetivo de contribuir com o sistema educativo, diversas pesquisas estruturaram propostas pedagógicas inspiradas nesta epistemologia.

Laburú, Arruda e Nardi (2001), em seu trabalho intitulado: *Os programas de pesquisa de lakatos: “uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia”*, propõem uma analogia aos programas de pesquisa de Lakatos e a dinâmica das ideias dos estudantes em situações de sala de aula. Além disso, os autores aliam essa epistemologia com o modelo de mudança conceitual proposto por Posner (1982). Os autores enfatizam que a abordagem proposta pode ser efetivamente usada como um instrumento analítico para auxiliar o professor a entender e melhorar os processos de ensino e de aprendizagem. Dentro dessas ideias, os autores afirmam:

Neste trabalho, adotaremos a metáfora que relaciona a dinâmica dos programas de pesquisa lakatosiano com as idéias dos alunos frente às científicas. Para que essa metáfora se torne conveniente no processo coletivo que caracteriza a instrução de sala de aula, as concepções alternativas dos alunos serão aproximadas por “teorias” compartilhadas que concorrem, em termos explicativos, com as teorias científicas. Em Driver et alli (1985) podemos encontrar o termo esquema que também descreve a ideia de “teoria” compartilhada pelos alunos. Esse termo identifica um elemento estável da estrutura cognitiva armazenada na memória, denotando diversas significações que estão nela armazenadas e inter-relacionadas. Para os estudantes, esses esquemas servem para interpretar os fenômenos que eles encontram em suas vidas diárias e que formam um conhecimento de senso comum. Em sua natureza, esse conhecimento de senso comum difere do conhecimento científico de várias maneiras. Por exemplo, difere nas entidades ontológicas, é tácito e não apresenta regras explícitas, enquanto, por contraste, o conhecimento científico é caracterizado por formulações explícitas das teorias que podem ser comunicadas e investigadas à

luz das evidências. Portanto, é nesse sentido que interpretamos o termo “teoria” para as concepções dos alunos, advertindo, contudo, sobre a limitação que o termo “teoria” pode vir a denotar (LABURÚ, ARRUDA e NARDI, 2001, p. 28).

Dentro deste contexto, os autores apresentam um instrumento analítico como subsídio para o professor de nível médio empregar durante a sua prática pedagógica. A elaboração deste instrumento procura representar o desenvolvimento dos discursos em sala de aula, segundo uma perspectiva epistemológica (LABURÚ, ARRUDA e NARDI, 2001). Sobre o instrumento analítico os autores descrevem:

Propomos que o conhecimento, que vai progressivamente sendo construído durante a instrução em classe, seja observado através de três “programas”: 1) “Programa alternativo” (PA), que está relacionado e fundamentado nas concepções alternativas ou de senso comum, conforme argumentamos na seção anterior; 2) “Programa transitório” (PTr), em que o “programa alternativo” encontra-se pouco diferenciado do científico, mas que já é possível observar, em maior ou menor medida, tentativas, por parte do aluno, do emprego de conceitos científicos. Em outras palavras, o aluno encontra-se numa situação natural de conflito cognitivo, que podemos caracterizar como uma fase transitória, onde o aprendiz procura apropriar-se de elementos do “programa científico”, conservando, ao mesmo tempo, vínculos com o “programa alternativo”; 3) “Programa científico” (PC), em que se articulam, num nível satisfatório pretendido pelo professor, os conceitos e conteúdos curriculares. Ao se estabelecer previamente o conhecimento dos estudantes dessa forma podemos, simultaneamente, localizar cada pensamento ou argumentação individual dos mesmos em um desses três “programas” (LABURÚ, ARRUDA e NARDI, 2001, p. 29).

Em síntese, os autores afirmam que a proposta favorece a dinâmica de construção do conhecimento em sala de aula por meio dos “programas” PA, PTr e PC para classificar os pensamentos individuais dos estudantes em uma dessas possibilidades.

Já na pesquisa: *uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma reconstrução racional didática*, Silva, Nardi e Laburú (2008) estruturam uma proposta de estratégia para o ensino de Física que inclui a Reconstrução Racional Didática (RRD) com visão filosófica implícita baseada na concepção epistemológica e reconstrução racional de Lakatos. Os autores afirmam que a inclusão da RRD no processo de ensino e aprendizagem tem o objetivo de exemplificar situações racionais de comparação de teorias rivais e, com isso, preparar o estudante para posteriores debates entre concepções rivais, como por exemplo, concepções alternativas versus concepções científicas, de modo a favorecer o aprendizado desses estudantes.

Os autores afirmam que a RRD é o uso da História e Filosofia da Ciência como ponto de partida para desenvolver e projetar soluções didáticas satisfatórias que podem ser compreendidas como reconstruções didáticas para favorecer o ensino de conceitos científicos.

Dentro deste contexto, os autores relatam a sequência de passos da referida estratégia de ensino:

Passo 1 - Diagnosticar as concepções alternativas dos estudantes para caracterizá-las como se fossem “programas”, por meio de questionários escritos ou orais, discussões em grupo, entre outros. Essas concepções serão utilizadas no passo 5.

Passo 2 - Apresentar duas teorias científicas rivais, de modo a incluir aquela que se pretende ensinar. Discutir com os estudantes os postulados, ou seja, o núcleo duro de cada teoria e analisar as diferenças explicativas para os fenômenos. Os autores ressaltam que este passo deve ser bem trabalhado para que um nível satisfatório de compreensão seja alcançado.

Passo 3 - Avaliar as compreensões alcançadas na etapa anterior.

Passo 4 - Apresentar a RRD para os estudantes. Nessas discussões históricas também é possível reforçar a compreensão das teorias científicas, entretanto o principal interesse é que o debate de superação de uma teoria frente a uma rival seja direcionado pela racionalidade lakatosiana.

Passo 5 - Neste momento, inicia-se a discussão racional entre as concepções alternativas e a teoria científica que foi vencedora no passo anterior. Os autores afirmam que esta racionalidade tem o objetivo de orientar a aceitação de novas concepções. Para isso, o professor deve apresentar as concepções alternativas diagnosticadas no passo 1 e fazer comparações com a teoria científica, buscando confrontar as explicações que as concepções alternativas e a teoria científica possuem sobre os fenômenos.

Passo 6 - Neste passo é importante que os estudantes estabeleçam insatisfações com o programa alternativo (concepções alternativas). Segundo os autores, a anomalia de uma determinada teoria emerge quando, na resolução de um problema científico através da teoria aceita, surge uma dificuldade conceitual ou empírica que outra teoria não manifesta, tornando-se candidata à aceitação pela comunidade científica. Desta forma, no processo de aprendizagem, a anomalia gera insatisfação em relação ao senso comum (concepções alternativas) e se manifesta quando essas concepções não conseguem dar conta do objetivo do estudante. É a partir desse ponto, que o professor procura enfraquecer o núcleo do programa alternativo para eliminação de teorias. Lembrando a principal recomendação de Niaz (1998) nesse sentido: *“a complexidade cognitiva das convicções nucleares pode ser quebrada por uma série de questionamentos. Isso pode ser facilitado quando são distinguidas as concepções nucleares, que são mais resistentes a mudanças, de suas explicações auxiliares”*. Neste contexto, segundo os autores, com maior força heurística de se tornar progressivo, o

programa de científico deve ter prestígio para ser aceito com maior facilidade pelos estudantes de forma objetiva e racional.

Passo 7 – Esse passo destina-se a realização de uma segunda avaliação com o objetivo de verificar se houve compreensão epistemológica da teoria científica.

Os referidos autores fornecem um exemplo de aplicação da estratégia de Reconstrução Racional Didática (RRD) voltadas para o ensino dos conceitos de calor e temperatura no ensino médio, conforme pode ser observado no fragmento de texto abaixo:

Primeiramente, é necessário escolher pelo menos dois programas de pesquisa rivais da história da física, por exemplo, a teoria do calórico e a teoria cinético-molecular da matéria. A partir daí, o professor deve apresentar os modelos e explorar seus postulados básicos, apresentando-os como invioláveis, cuja filosofia implícita entende como concepções centrais, núcleos de programas de pesquisa por analogia com a heurística negativa. Seguindo o passo 2, o professor deve escolher fenômenos que ambas teorias explicam sem contradizer seus postulados. Posteriormente, o professor poderá “abusar” de sua criatividade para ilustrar de forma racional (por inspiração no falseamento lakatosiano) como o programa de pesquisa cinético-molecular tornou-se progressivo diante de seu rival, então, degenerativo, por analogia ao sinal típico de degeneração de um programa que se comentou em seções anteriores. Nessa ocasião, contrariamente ao que se fez no passo 2, deve-se discutir fenômenos em que as interpretações enfraquecem os postulados da teoria calórica, enquanto fortalecem os da rival cinético-molecular. Nesse sentido, o professor pode ser auxiliado por uma RRD elaborada para auxiliar o entendimento de seus alunos em relação à racionalidade que direciona a tomada de decisão para escolher a teoria vencedora. Dessa maneira, quando em passos posteriores da estratégia confrontar as concepções alternativas dos alunos com as científicas, então vencedoras na RRD, ficará mais fácil “energizar” a racionalidade para auxiliar o aprendizado racional (SILVA, et al., 2008, p. 185).

Dentro deste contexto, os autores concluem a pesquisa enfatizando que o presente estudo oferece uma alternativa possível, por meio da *reconstrução racional didática* inspiradas nas ideias de Imre Lakatos (1970), em favorecer o processo de aprendizagem de conceitos científicos.

Blanco e Niaz (1998) em seu trabalho “*Baroque tower on gothic base: a lakatosian reconstruction of students ‘and teachers ‘understanding of structure of the atom’*”, publicado na Science & Education, relatam o desenvolvimento de um estudo cujo objetivo foi realizar uma reconstrução racional sobre a estrutura do átomo. O trabalho teve como foco de investigação os seguintes pontos: a) história da ciência pode ser concebida como programas de pesquisa rivais concorrentes; b) alguns dos maiores programas de pesquisa científica avançou em fundamentos inconsistentes; c) na prática científica real, contra exemplos seriam considerados como meras anomalias; d) o trabalho de Thomson, Rutherford e Bohr levou à postulação de modelos atômicos baseados em estruturas de entendimento concorrentes.

Desta forma, a pesquisa foi desenvolvida com 171 calouros matriculados em Química Geral I e sete professores de Química no Instituto Universitário de Tecnologia, *El Tigre*, Venezuela. Todos os alunos e professores foram convidados a responder a um questionário de 11 itens, bem como explicar as suas respostas. O questionário foi aplicado um mês após o ensino formal do conteúdo de estrutura atômica. Os autores categorizaram as repostas dos professores e alunos nas seguintes categorias: Positivista/indutivista, transitórias e Lakatosianas. Os resultados obtidos mostram que os estudantes e professores: a) possuem uma compreensão positivista muito semelhante ao progresso da ciência; b) são inconsistentes em suas respostas, passando de uma resposta positivista sobre um item para um lakatosiana em um outro; c) também mostrou alguns padrões de resposta consistentes por resistirem mudanças em algumas de suas crenças fundamentais, invocando "hipóteses auxiliares" e d) consideraram que os fatos experimentais rígidos observáveis da ciência são essenciais.

Laburú e Niaz (2002), no estudo: *A Lakatosian Framework to Analyze Situations of Cognitive Conflict and Controversy in Students' Understanding of Heat Energy and Temperature*, analisaram as interações (conflitos, controvérsias e argumentos) dos alunos do ensino médio ao participarem de uma atividade didática elaborada com o objetivo de facilitar a sua compreensão em energia térmica e temperatura. Esta pesquisa foi aplicada a 32 alunos do nono ano de uma escola pública localizada em Londrina, PR.

Os autores descrevem que os resultados obtidos revelam que a diferenciação entre energia térmica e temperatura constitui dificuldades consideráveis para os alunos, e pode ser considerada como parte do "núcleo duro" de seu entendimento. As concepções dos estudantes foram classificadas em modelo alternativo, modelo de transição e modelo científico, dependendo do grau em que elas refletiam uma transição gradual em seu "núcleo duro".

Os autores afirmam que alguns estudantes foram capazes de questionar o "núcleo duro" de suas crenças e construir um modelo transitório. Alguns alunos experimentaram uma nova transição progressiva através da construção de um modelo científico, com base no entendimento de que "Temperatura só mede a energia de agitação." Ainda ressaltam que a metodologia utilizada também forneceu um vislumbre de como um aluno, em particular, resolve conflitos, a fim de facilitar a transição progressiva sobre a compreensão dos conceitos estudados. Os autores concluem que, dada a oportunidade de discutir, refletir, considerar situações alternativas e conflitantes, os alunos puderam construir modelos que aumentaram progressivamente seu poder explicativo/heurístico.

Niaz (1998) também desenvolveu uma pesquisa: *A Lakatosian conceptual change teaching strategy based on student ability to build models with varying degrees of conceptual*

understanding of chemical equilibrium. Essa pesquisa faz referência a uma estratégia de ensino embasada em analogias com a epistemologia de Lakatos (1970). Segundo o autor, o objetivo principal dessa pesquisa foi construir uma estratégia de ensino lakatosiana que pudesse favorecer a mudança conceitual de estudantes no tópico de equilíbrio químico. Para isso, teve como ponto de partida o levantamento das concepções alternativas dos estudantes, levando em consideração e admitindo que estas concepções fossem programas de pesquisa. Desta maneira, segundo o autor, esta comparação permite que estas concepções ou “programas” tornem-se candidatas à mudança, uma vez que a complexidade cognitiva das convicções dos estudantes, ou seja, seu “núcleo duro” pode ser substituído por uma série de questionamentos.

Niaz (1998) afirma que a mudança conceitual por parte dos estudantes pode ser facilitada quando consegue-se distinguir as suas concepções nucleares (aquelas mais resistentes à mudanças), de outras explicações. Silva et al. (2008) acreditam que as explicações nucleares dos estudantes oferecem resistências em suas convicções por criarem “hipóteses auxiliares” para defendê-las. Para os autores essas “hipóteses ou explicações auxiliares” podem direcionar a elaboração de novas metodologias de ensino, de forma que possa contribuir com a evolução conceitual. Desta forma, segundo Niaz (1998), isto implica considerar que as concepções alternativas dos estudantes não são erradas, mas sim modelos similares aos utilizados pelos cientistas para simplificar a complexidade de um fenômeno. Ou seja, *“as concepções devem ser consideradas como “teorias” que competem com as teorias científicas e, às vezes, recapitulam teorias científicas do passado”* (NIAZ, 1998 p.122).

Além disso, Niaz (1998) menciona que sua proposta didático-pedagógica é formada por outras similaridades com a epistemologia de Imre Lakatos. A realização de um paralelo entre as teorias científicas utilizadas pelos cientistas e a construção de modelos pelos estudantes referentes às compreensões conceituais (NIAZ, 1995). A similaridade encontra-se na interpretação do desempenho dos estudantes, ao resolverem problemas de um determinado conceito, como um processo de transições progressivas de modelos explicativos que admitem distintos graus de poder heurístico para esses modelos, ou simplesmente, de seus entendimentos conceituais. Desta forma, similar ao que Lakatos (1970) denomina de reconstruções racionais de Programas de Investigações Científicas, Niaz (1995) institui uma reconstrução racional da evolução do conhecimento de estudantes, por meio de transições progressivas de modelos.

Nesta perspectiva, Niaz (1995) sintetiza as conclusões de suas investigações, bem como direciona a projeção de estratégias didático-pedagógicas Lakatosiana em:

Procurar as convicções nucleares dos estudantes no tópico (núcleo duro, Lakatos, 1970) pode ser um apropriado ponto de partida para a estratégia; explorar a relação entre as convicções nucleares e as concepções alternativas dos estudantes poderia ser o próximo passo. Para isso, é essencial que as concepções alternativas sejam interpretadas dentro de uma perspectiva epistemológica. Assim, uma concepção alternativa não é um mero engano ou falsa convicção. Ela deve se assemelhar a um paradigma. Isso porque tal semelhança pode permitir que se torne uma candidata à mudança. A complexidade cognitiva das convicções nucleares pode ser quebrada por uma série de questionamentos. Isso pode ser facilitado quando são distinguidas as concepções nucleares, que são mais resistentes a mudanças, de suas explicações auxiliares; Os estudantes resistem a mudanças em suas convicções nucleares por criarem 'hipóteses auxiliares' para defendê-las. Essas hipóteses auxiliares podem prover pistas e direções para a construção de novas táticas de ensino; É importante que as respostas dos estudantes, baseadas em suas concepções alternativas, não sejam consideradas como erradas, mas como modelos, talvez do mesmo modo como usam os cientistas para quebrar a complexidade de um problema; As concepções alternativas dos estudantes devem ser consideradas como 'teorias' que competem com as teorias científicas presentes e, às vezes, recapitulam teorias científicas do passado. (NIAZ, 1998, p. 122-123).

Portanto, levando em consideração essas orientações, elaborou-se uma sequência didática (SD) baseada em atividades experimentais de caráter investigativo, resolução de problemas e atividades de modelagem, com o objetivo de levantar as concepções dos estudantes sobre o tópico em questão, com vistas a evolução conceitual, de modo que seus modelos explicativos possam formar sequências de transição progressiva, evoluindo e aumentando seu poder heurístico.

Entretanto, antes de apresentar a SD, considerou-se oportuno realizar um levantamento sobre as pesquisas referentes ao tema em questão. Desta forma, o próximo capítulo será destinado a realização de um diagnóstico do desenvolvimento do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais e internacionais, com objetivo de identificar o cenário atual das pesquisas que retratam este tema.

CAPÍTULO 2 – 1ª ETAPA - DIAGNÓSTICO DO ENSINO E APRENDIZAGEM DE FORÇAS INTERMOLECULARES

Antes de iniciar o capítulo 2, ressalta-se que a presente tese foi dividida em duas etapas, a primeira, apresenta um diagnóstico do ensino e aprendizagem (EAP) de forças intermoleculares. Dentro deste contexto, considerou-se importante, realizar um diagnóstico de como o ensino de forças intermoleculares estão sendo desenvolvidas. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em periódicos nacionais e internacionais para detectar, avaliar e obter uma visão de como ocorre o EAP desse tema no âmbito das publicações nacionais e internacionais. Na 2ª etapa, tendo como base os resultados já obtidos, será apresentada a análise da construção/evolução do conhecimento por parte dos estudantes.

O presente capítulo se inicia com a descrição da metodologia da pesquisa, apresentando características gerais desta investigação, como a classificação quanto à natureza, métodos e objetivos. Em seguida será apresentada a investigação do panorama atual sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares, a metodologia, análise dos dados e discussões dos resultados da investigação desenvolvida.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa desenvolvida na presente tese possui caráter predominantemente qualitativo, apresentando também viés quantitativo, sendo classificada como abordagem mista. Spratt, Walker e Robison (2004) define a pesquisa quantitativa como a busca dentro de uma abordagem dedutiva, com base no teste de uma teoria com o foco sobre o fenômeno social como algo objetivo e mensurável. Bogdan e Biklen (1982) destacam que a pesquisa qualitativa possui como fonte direta de dados o ambiente natural, pois parte-se do pressuposto que o comportamento humano é significativamente influenciado pelo contexto em que os sujeitos estão inseridos. Além disso, nesse tipo de investigação, os pesquisadores mergulham no mundo dos sujeitos observados, tentando compreender seu comportamento e como constroem a realidade que atuam.

Para Spratt, Walker e Robison (2004), os estudos mistos empregam distintas metodologias de coleta e análises dentro de um paradigma de pesquisa único. Desta forma, é possível conduzir um estudo qualitativo no qual o pesquisador é um observador participante e também realiza entrevistas com pessoas. Em um estudo quantitativo é possível realizar uma

pesquisa de levantamento de atitudes com estudantes e também coletar informações de dados computacionais. Os referidos autores afirmam:

Combinar métodos qualitativos e quantitativos parece uma boa ideia. Utilizar múltiplas abordagens pode contribuir mutuamente para as potencialidades de cada uma delas, além de suprir as deficiências de cada uma. Isto proporcionaria também respostas mais abrangentes às questões de pesquisa, indo além das limitações de uma única abordagem (SPRATT; WALKER; ROBISON, 2004, p. 6).

Quanto aos métodos, segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas de diversas maneiras, tais como: pesquisas bibliográficas, experimental, documental, de campo, de levantamento, estudo de caso, pesquisa participante, pesquisa-ação e etnográfica. Levando em consideração que a 1ª etapa desta investigação, buscou realizar um levantamento do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares dentro contexto nacional e internacional, pode-se classifica-la, nesta etapa, como bibliográfica.

Segundo Fonseca (2002), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir do levantamento de referências teóricas, publicadas por meios escritos e eletrônicos, tais como livros, artigos científicos e páginas de web sites. Gil (2002) afirma que qualquer trabalho científico se inicia com uma pesquisa bibliográfica, permitindo ao pesquisador conhecer o que já estudou sobre seu assunto.

Para Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa bibliográfica:

[...] é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído, principalmente, de livros e artigos científicos e é importante para o levantamento de informações básicas sobre os aspectos direta e indiretamente ligados à nossa temática. A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de fornecer ao investigador um instrumental analítico para qualquer outro tipo de pesquisa, mas também pode esgotar-se em si mesma (LAKATOS e MARCONI, p. 53, 2001).

O principal objetivo de uma pesquisa bibliográfica é quantificar, identificar, analisar e descrever uma série de padrões na produção do conhecimento científico de determinado tema (RUDIO, 1980), neste caso a partir do levantamento de artigos sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares publicados em periódicos nacionais e internacionais.

Quanto à classificação desta pesquisa, em relação aos objetivos, ela se enquadra como exploratória e explicativa. Gonsalves (2011) destaca o estudo exploratório como a busca pelo esclarecimento de ideias, proporcionando maior compreensão do problema, oferecendo uma visão global do fenômeno estudado, de modo que o estudo possa ser projetado com maior compreensão e precisão. Estas características corroboram com o propósito da 1ª etapa desta

pesquisa, na qual se busca investigar e compreender o tratamento que está sendo dado ao conteúdo de forças intermoleculares.

Ainda segundo a pesquisa exploratória, Gil (2002) defende que este tipo de pesquisa possui como principal objetivo:

Desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Estes tipos de pesquisas são os que apresentam menor rigidez no planejamento, pois são planejadas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato (GIL, 2002, p. 45).

Essas ideias corroboram com Zikmund (2000): as pesquisas exploratórias são extremamente úteis para diagnosticar situações, explorar alternativas ou descobrir novas ideias. O autor afirma que esse tipo de trabalho é conduzido na fase inicial da pesquisa, pois é neste momento que se procura esclarecer e definir a natureza de um problema e gerar mais informações que possam contribuir com a investigação. Desta maneira, Oliveira (2011) afirma:

Mesmo quando já existem conhecimentos do pesquisador sobre o assunto, a pesquisa exploratória também é útil, pois, normalmente, para um mesmo fato organizacional, pode haver inúmeras explicações alternativas, e sua utilização permitirá ao pesquisador tomar conhecimento, se não de todas, pelo menos de algumas delas para esclarecer a futura pesquisa (OLIVEIRA, 2011, p. 11).

Esta afirmação vai ao encontro das ideias da presente pesquisa, uma vez que os resultados obtidos na primeira etapa orientam as ações propostas na segunda etapa.

Já as pesquisas explicativas, segundo Gil (1999), possuem como objetivo a identificação dos fatores que determinam a ocorrência do fenômeno em estudo. É um tipo de abordagem que aprofunda o conhecimento da realidade, uma vez que procura explicar a razão e as relações de causa e efeito dos fenômenos. Desta forma, é um tipo de pesquisa mais complexa, pois além de registrar, analisar, classificar e interpretar o fenômeno busca-se identificar e compreender seus fatores determinantes.

Durante o desenvolvimento da presente investigação, procuraram-se as causas das dificuldades dos estudantes e fatores que determinam a geração de concepções alternativas, com o objetivo de compreender o ensino e aprendizagem dos tópicos relacionados às forças intermoleculares. Desta maneira, é possível afirmar que os objetivos da tese corroboram com os aspectos de uma pesquisa explicativa.

Na próxima seção, será apresentada a metodologia, resultados e discussões sobre o cenário atual das pesquisas que retratam o ensino e a aprendizagem de forças intermoleculares.

2.2 PANORAMA DAS PESQUISAS SOBRE O ENSINO E APRENDIZAGEM DE FORÇAS INTERMOLECULARES

Esta seção será destinada a apresentar informações consistentes sobre o panorama do ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares. Para isso, investigou-se em periódicos nacionais e internacionais resultados de pesquisas sobre o tema em questão. A metodologia empregada, os resultados, bem como as discussões serão devidamente apresentadas.

Considera-se oportuno o desenvolvimento de estudos descritivos e analíticos que incidam sobre a produção acadêmica, com o objetivo de delinear as perspectivas e as tendências atuais das pesquisas desenvolvidas neste campo de estudo. Desta forma, é importante a elaboração de um quadro teórico atualizado sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares, que apresente uma fundamentação consistente, que contribua com as atividades de ensino e pesquisas na área de Educação Química.

2.2.1 Percurso metodológico

A orientação metodológica adotada, conforme mencionado, caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, pois esta investigação destina-se a quantificar, identificar, analisar e descrever uma série de padrões sobre a produção do conhecimento científico em relação ao ensino e aprendizagem de forças intermoleculares. Neste caso, a partir do levantamento de artigos publicados na área de Ensino de Química e Ciências em periódicos nacionais e internacionais entre 1991 e 2015. Esse período foi delimitado em decorrência da primeira publicação encontrada nas revistas analisadas datar de 1991, contemplando a produção bibliográfica sobre o assunto desenvolvida durante 25 anos.

A investigação foi realizada em quatro estágios:

- 1) Seleção dos periódicos nacionais e internacionais para estudo;
- 2) Coleta dos dados por meio do levantamento de artigos que abordam o tema;
- 3) Triagem a partir da leitura integral dos artigos localizados e exclusão dos que não versam sobre o tema;

4) Análise dos artigos selecionados a partir de um roteiro previamente elaborado.

Primeiramente, foram selecionados periódicos nacionais e internacionais, que constituem as fontes bibliográficas de pesquisadores da área de ensino de Química e Ciências. Esses periódicos foram escolhidos por possuírem um número expressivo de publicações científicas em seus acervos, além de serem indexados pelo sistema WebQualis disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os periódicos brasileiros e de outros países podem ser classificados em mais de uma área do conhecimento e possuir estratos diferentes em cada uma. A indexação dos periódicos está dividida em oito estratos, que são: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5 e C, sendo o primeiro citado o de maior impacto e o último o de menor (BRASIL, 2014). A relação dos periódicos analisados está descrita nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Relação de periódicos nacionais analisados

Periódicos Nacionais		
Periódico	Conceito Qualis	Código
Ciência e Educação	A1	CeE
Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências	A2	RBPEC
Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências	A2	EPEC
Investigações em Ensino de Ciências	A2	IEC
Química Nova na Escola	B1	QNEsc
Revista Brasileira de ensino de Química	B1	RBEQ
Experiência em Ensino de Ciências	B1	EEC
Revista de Ensino de Ciências e Matemática (Acta)	B1	ARECM
Alexandria	B1	A
Química Nova	B2	QN
Ciência e Ensino	B2	CE
Ciência in Natura	B2	CN

Fonte: Autores.

Quadro 4 – Relação de periódicos internacionais analisados

Periódicos Internacionais		
Periódico	Conceito Qualis	Código
International Journal of Science Education	A1	IJSE
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	A2	REEC
Chemistry Education Research and Practice	A2	CERP
Enseñanza de las Ciencias	A2	Ecien
Journal of Chemical Education	A2	JCE
Educació Química	B1	EQ
Science Education International (Online)	B1	SEI
Research in Science Education	B1	RSE
Education in Chemistry	B1	EChe
Formación Universitaria	B5	FU

Fonte: Autores.

Uma vez selecionados os periódicos, o levantamento dos artigos que abordam o tema em estudo ocorreu por meio da busca dos termos: forças intermoleculares, interações intermoleculares, ligação hidrogênio, interação de van der Waals, forças de London e forças de dispersão, no título, palavras-chave ou resumo. Além disso, realizou-se a busca destas palavras na língua inglesa e espanhola.

Um considerável número de artigos foi localizado e a partir da leitura integral dos textos foram descartados os trabalhos que não abordavam o assunto em questão. Ao final deste estágio, foram selecionadas 51 publicações em revistas nacionais e internacionais (Apêndice A).

Cada artigo foi lido e examinado utilizando o roteiro de análise, organizado em três dimensões, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Roteiro para análise dos artigos nacionais e internacionais selecionados

Roteiro para análise dos periódicos nacionais e internacionais selecionados								
<i>1ª dimensão: caracterização dos artigos</i>								
Revista	Título			Ano	Autores	País	Universidade	Estado
<i>2ª dimensão: aspectos metodológicos</i>								
Artigo teórico ou empírico	Natureza da pesquisa			Objetivos do artigo e classificação quanto aos objetivos	Métodos empregados			
	Quali	Quantit	Qual/quant		Sujeitos	Nível de ensino	Instrumentos e Método de análise dos dados	
<i>3ª dimensão: Base teórica e resultados da pesquisa</i>								
Base teórica		Metodologia empregada para abordar o conteúdo		Conteúdo Abordado	Conteúdos associados às FI	Principais resultados		

Fonte: Autores.

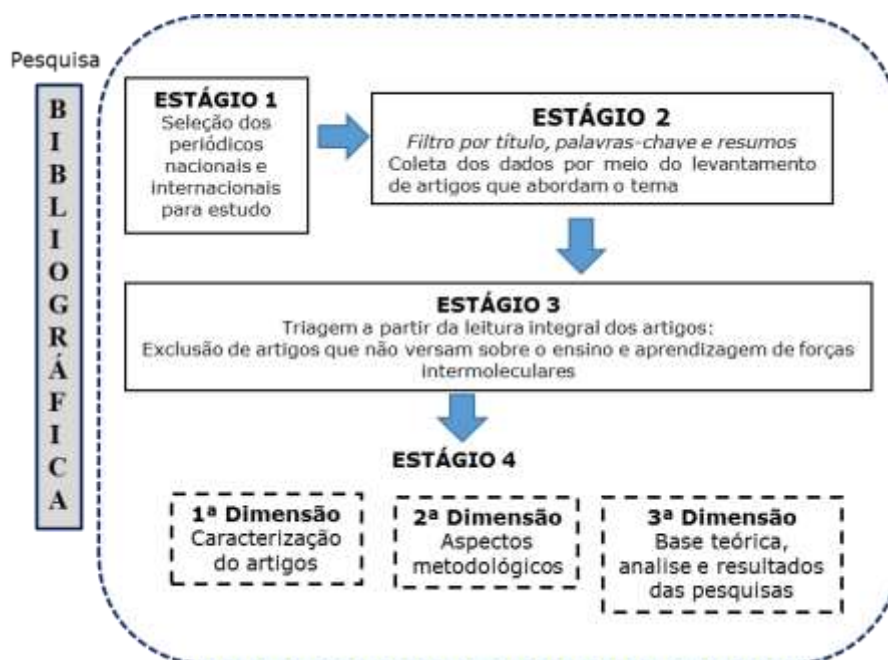
Este roteiro de análise reuniu um conjunto de categorias que avaliaram cada artigo em três dimensões. A primeira dimensão, *caracterização dos artigos*, engloba as características gerais da produção, identificando a revista, o título da pesquisa, a relação dos periódicos e número de artigos por ano, classificação dos autores, identificação das instituições, bem como o país de origem destas publicações. Na segunda dimensão, *Aspectos metodológicos*, buscou-se descrever o perfil metodológico dos estudos. Para isso, baseou-se nos trabalhos de Costa e Moreira (1996) e adaptou-se a classificação proposta por Hoppen e Meireles (2005), que visa identificar a natureza e métodos das pesquisas, considerando: a) natureza da pesquisa (teórica

ou empírica); b) abordagem da pesquisa (qualitativa, quantitativa ou mista); c) nível de ensino (fundamental, médio ou superior).

Finalmente a 3ª dimensão, *Base teórica e resultados das pesquisas*, contempla as principais contribuições da produção científica analisada para o ensino e a aprendizagem de forças intermoleculares (FI). Em relação à base teórica, foi identificada a fundamentação assumida pelos autores, que podem ser: construtivismo, teoria sobre forças intermoleculares, modelos mentais e aprendizagem cooperativa. Além disso, quando presente, a metodologia de ensino empregada ou proposta para desenvolver o tópico foi detectada. Referente às principais contribuições das pesquisas realizou-se um levantamento das concepções mais recorrentes durante o estudo do tópico, bem como foram identificadas as propostas que favoreceram a transição entre os níveis de representação da matéria.

A Figura 31 apresenta o desenho de pesquisa, a qual sintetiza os estágios de análise dos artigos. As tabelas contendo os dados brutos dessa pesquisa podem ser consultados no apêndice A.

Figura 31 – Estrutura da pesquisa de análise das publicações sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares



Fonte: Autores.

Os artigos foram analisados e classificados de forma independente por três pesquisadores, conforme os critérios estabelecidos. As classificações individuais foram

confrontadas para que quando ocorressem divergências entre os pesquisadores, essas fossem discutidas e reavaliadas a fim de um acordo a respeito da classificação.

2.2.2 Apresentação e discussão dos resultados

Visando garantir a profundidade na análise dos artigos sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares, a organização dos resultados está subdividida nas três dimensões pré-estabelecidas: (1) Caracterização dos artigos; (2) Aspectos metodológicos; (3) Base teórica e resultados das pesquisas.

2.2.2.1 Caracterização dos artigos

Dos 22 periódicos investigados (Tabela 3), em 11 foram localizados artigos que abordam o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares, dentre os quais, 5 são nacionais e 6 internacionais. No período estipulado nesta investigação, 1991-2015, foram selecionados 51 artigos que versam sobre o tema, sendo 12 trabalhos (23,53%) publicados em revistas de nacionalidade brasileira e 39 (76,47%) em periódicos internacionais. A Tabela 3 e Figura 2 apresentam a relação desses periódicos e o número de artigos publicados por período de cinco anos.

Tabela 3 – Relação dos periódicos e número de artigos publicados por período de cinco anos

Periódico/Código	1991 a 1995	1996 a 2000	2001 a 2005	2006 a 2010	2011 a 2015	Total	%
<i>RBPEC</i>			1		1	2	3,92
<i>IEC</i>					1	1	1,96
<i>QNEsc</i>			2	1	4	7	13,73
<i>QN</i>					1	1	1,96
<i>EEC</i>					1	1	1,96
Total Nacional	0	0	3	1	8	12	23,53%
<i>REEC</i>			1	4		5	9,80
<i>EQ</i>			2	1	1	4	7,84
<i>JCE</i>	3	6	3	4	4	20	39,22
<i>RSE</i>				1		1	1,96
<i>CERP</i>			1	2	5	8	15,69
<i>FU</i>					1	1	1,96
Total Internacional	3	6	7	12	11	39	76,47%
Total Geral							100

Fonte: Autores.

É possível perceber que poucos periódicos englobam a maior parte das publicações sobre o tema, principalmente as revistas específicas do ensino de Química, como é o caso da Química Nova na Escola (QNEsc), que publicou aproximadamente 14% do total de artigos analisados e 58% das produções brasileiras. Este periódico possui grande representatividade acadêmica e profissional, fornecendo subsídios à comunidade de educadores químicos do Brasil.

Também se destaca o *Journal of Chemical Education* (JCE), periódico que faz parte da divisão de Educação Química da *American Chemical Society*, muito influente e de alto impacto, que apresentou aproximadamente 40% dos artigos analisados e 51,2% dos internacionais. Com a predominância de proposições para o ensino superior, a revista normalmente publica trabalhos que abordam o conteúdo químico, bem como propostas, relatos e investigações realizadas a partir de atividades experimentais e metodologias diferenciadas de ensino.

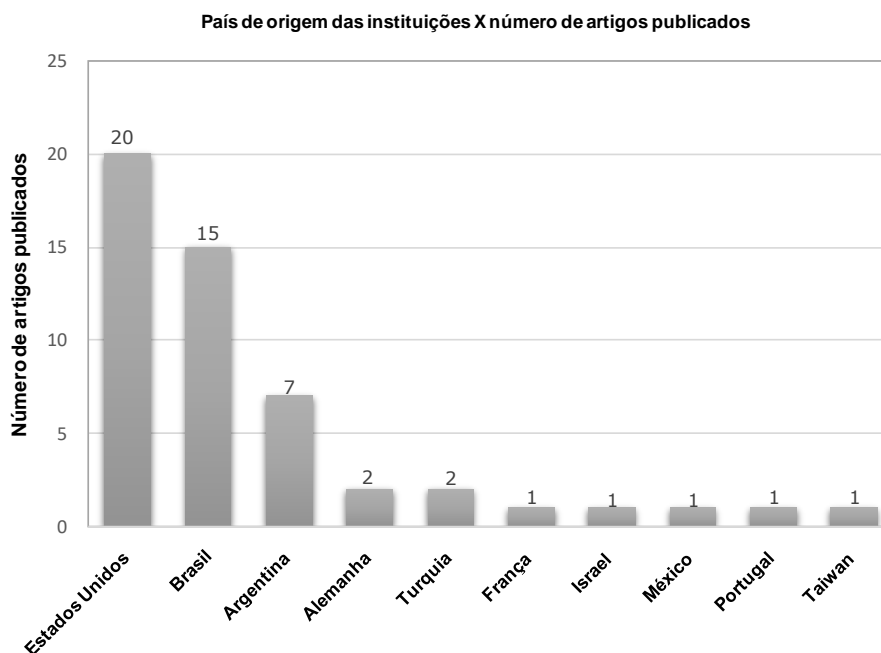
No cenário internacional também se destaca o *Chemistry Education Research and Practice* (CERP), que apresentou uma porcentagem significativa (15,69%) do total de artigos sobre o tema. Esse periódico surgiu da fusão, em 2005, de duas revistas, o *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* (CERPIE) e o *University Chemistry Education*, editado pela *Royal Society of Chemistry* (Inglaterra) (NUNES, 2016). Este veículo apresenta grande incidência de artigos com propostas de experimentos e uma diversidade de metodologias para favorecer o ensino de Química tanto no nível superior como no básico.

Dentre os periódicos voltados para a Educação em Ciências, a *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (REEC) apresentou uma considerável produção (9,80%) sobre o tema, apesar de não ser um periódico exclusivo para o ensino de Química. Esse periódico dedica-se à inovação e investigação sobre o ensino e a aprendizagem das ciências experimentais nos diferentes níveis de educação.

Outra informação detectada foi à predominância de artigos internacionais (76,47%) sobre o tema, quando comparado com a produção nacional (23,53%). Infere-se a necessidade de se desenvolver mais produções brasileiras dedicadas ao ensino e aprendizagem deste conteúdo, visto que diversos autores (HENDERLEITER et al., 2001; SCHMIDT et al., 2009; COOPER et al., 2015) enfatizam a importância do tema para a compreensão de uma diversidade de fenômenos no cotidiano.

Com o propósito de identificar a origem das instituições que os autores das publicações pertencem, o Gráfico 2 apresenta o número de artigos publicados por país no período estipulado.

Gráfico 2 – País de origem das instituições e número de artigos publicados



Fonte: Autores.

Por meio da análise do Gráfico 1, percebe-se que 39,2% das publicações foram desenvolvidas em instituições localizadas nos Estados Unidos da América (EUA). Além disso, foram encontrados estudos realizados em países da Europa, Ásia e outros países da América, evidenciando a importância do tema para o ensino de Química.

Ressalta-se que o número de artigos publicados por autores brasileiros (SANTOS e GRECA, 2005; NERY et al., 2007; ANTUNES et al., 2012) é superior ao encontrado em periódicos nacionais, pois estes autores publicaram suas pesquisas em revistas internacionais. Entretanto, o mesmo não foi observado em periódicos brasileiros com autores de outras nacionalidades. Em termos de quantidade, as pesquisas nacionais possuem razoável produtividade em relação ao tema proposto, 23,53% do total das publicações. Considerando apenas o cenário internacional, foram encontrados 3 artigos, o que corresponde a 7,69% das produções.

Ponderando a relevância do tema é preciso aumentar a produção científica em relação ao ensino e aprendizagem das forças intermoleculares, pois a maioria dos trabalhos analisados enfatiza a importância deste conteúdo para a continuidade dos estudos, bem como para o entendimento das diversas áreas da Química (orgânica, analítica, físico química e inorgânica).

2.2.2.2 Aspectos metodológicos

Segundo Salém (2012), é importante que o pesquisador tenha coerência metodológica e que explicita sua opção em relação aos métodos e ao procedimento desenvolvido na construção de sua investigação. O autor defende a necessidade de analisar esses aspectos, na busca de caminhos para seu contínuo aprimoramento.

Nesta perspectiva, para essa dimensão, foram consideradas as seguintes categorias: a) Natureza da pesquisa; b) abordagem da pesquisa; c) nível de ensino. Para cada uma destas categorias foram criadas subcategorias com o objetivo de aprofundar as discussões. A Tabela 4 apresenta os resultados para as categorias a, b e c, bem como para as suas respectivas subcategorias.

Tabela 4 – Resultados referentes às categorias a, b e c

Subcategorias	Quantidade	Ocorrência (%)
a) Natureza da pesquisa		
Teórico	17	33%
Empírico	34	67%
b) Abordagem da pesquisa		
Qualitativa	33	65%
Quantitativa	7	14%
Mista	11	21%
c) Nível de ensino		
Ensino Fundamental	1	2%
Ensino Médio	13	25%
Educação Superior	28	56%
Ensino Médio e Superior	9	17%

Fonte: Autores.

A análise da Tabela 4 permite inferir que 33% dos artigos retratam os pressupostos teóricos relacionados às forças intermoleculares no ensino de Química. Tais pesquisas se estruturam dentro de um quadro teórico que visa apresentar e fundamentar os conceitos científicos trabalhados na educação formal, bem como abordar as implicações conceituais e pedagógicas no desenvolvimento teórico inadequado do conteúdo em questão.

Em relação ao exposto, Tarhan et al. (2008) afirmam que o conteúdo de forças intermoleculares tem recebido pouca atenção da educação química, dificultando a aprendizagem (em todos os níveis) de conceitos que são fundamentais, tais como: propriedades físicas, conformação molecular, solubilidade, adsorção, tensão superficial,

capilaridade, pressão de vapor entre outros. Os autores enfatizam a importância de estudos teóricos que fundamentem as atividades didático-pedagógicas dos professores, tanto do nível básico como superior, em relação ao conteúdo de forças intermoleculares.

A maior parte dos trabalhos possui abordagem empírica (67%), cujas fontes de dados foram questionários diagnósticos, testes, registros pictográficos, entrevistas, exercícios e relatórios. Segundo Megid (1999), esse tipo de abordagem metodológica visa à comprovação prática de um determinado fenômeno em estudo, seja por meio de experimentos ou observação de contextos para a coleta de dados.

Observou-se que muitas pesquisas empíricas se dedicaram em investigar as implicações pedagógicas da utilização de diferentes estratégias de ensino na abordagem do conteúdo de forças intermoleculares. É possível citar como exemplo, o estudo de Imbraim, Mendonça e Justi (2013), que propuseram atividades de modelagem para avaliar a evolução conceitual de 38 estudantes da 2ª série do ensino médio. Os dados foram coletados por meio de entrevistas e representações pictográficas elaboradas pelos sujeitos da pesquisa. As autoras afirmaram que a participação em atividades de modelagem influencia a argumentação científica, bem como favorece o desenvolvimento de conhecimentos coerentes com os modelos científicos de ligações químicas e forças intermoleculares.

Ayres e Arroio (2015) investigaram se as atividades de simulação computacional favoreceriam a evolução conceitual do tópico de forças intermoleculares por parte dos alunos da 2ª série do ensino médio, bem como a compreensão das representações macroscópicas, microscópicas e simbólicas de fenômenos observáveis. Os autores perceberam que a inserção de recursos multimídias favoreceu a elaboração de conceitos sobre as forças intermoleculares. Entretanto, eles identificaram muitas dificuldades na distinção entre os níveis de representação da matéria, pois a interpretação de fenômenos macroscópicos por meio das representações microscópicas e simbólicas exige um alto grau de abstração.

Dentro deste contexto, as pesquisas empíricas assumem um papel muito importante para o ensino, pois por meio delas, é possível delinear as principais dificuldades decorrentes do processo de ensino e aprendizagem, concepções alternativas, obstáculos à aprendizagem, estratégias de ensino eficazes, bem como possíveis soluções para favorecer a educação química.

Em relação à abordagem das pesquisas, conforme observado na Tabela 2, há predominância (65%) de investigações de caráter qualitativo dentre os artigos nacionais e internacionais analisados. Nas últimas duas décadas, as pesquisas qualitativas se intensificaram no ensino de Química e umas das razões, segundo Neri de Souza (2006),

encontra-se nas especificidades dessa área, que exige uma abordagem mais holística e interpretativa de suas problemáticas.

Apenas 14% dos artigos analisados desenvolveram uma abordagem de cunho quantitativo. Esse resultado corrobora com as concepções de Lüdke e André (1986), na afirmação de que a abordagem quantitativa por si só não explica a complexa realidade do fenômeno educacional. Não há como prever, manipular, nem controlar as variáveis encontradas dentro do contexto escolar. Ou seja, a pesquisa educacional, segundo, Gallagher (2002) não possui enfoque somente no mundo físico, químico ou biológico, mas principalmente no mundo social e comportamental, em que as variações contextuais possuem um papel fundamental.

Em relação ao nível de ensino, verificou-se predominância de trabalhos voltados para a educação superior (ES), 56% das investigações, demonstrando um forte interesse acadêmico em contribuir com a qualidade da formação superior. Detectou-se que 25% das pesquisas são voltadas exclusivamente para o ensino médio (EM) e um índice considerável de publicações (17%) associa este nível ao ES. Apenas um trabalho destinado ao ensino fundamental (EF) foi encontrado, evidenciando que há pouco interesse dos pesquisadores em relação ao tema neste nível de escolarização. Ainda, foram encontrados 2 trabalhos dedicados à Educação de Jovens e Adultos (EJA), classificados na categoria EM.

Em termos da ES, muitos dos trabalhos investigaram as dificuldades e propuseram estratégias para o desenvolvimento do conteúdo de forças intermoleculares neste nível. Muitas das pesquisas (TORRES et al., 2010; LIVNEH, 2005; BRUIST et al., 1998) destacaram que este conteúdo é a base para que os estudantes compreendam, por exemplo, métodos analíticos, bioquímica, propriedades físicas e reatividade dos compostos orgânicos. Segundo Cody e Wiser (2003), para a compreensão das propriedades físicas e reatividade das moléculas orgânicas, é muito importante que o conhecimento sobre as forças intermoleculares seja consistente e que o estudante não se limite a regras e memorização na identificação das interações presentes nestes compostos.

Desta forma, é possível inferir que o elevado número de trabalhos voltados à ES pode estar relacionado com a maneira com que o ensino de forças intermoleculares é desenvolvido na educação básica. Muitos estudantes chegam ao nível superior com distorções conceituais e modelos inadequados, o que impede a compreensão deste conteúdo. Em relação a isso, por exemplo, Nery, Liegel e Fernandez (2007) analisaram as respostas de estudantes do ensino médio para uma questão de um exame de ingresso de uma universidade brasileira que abordou as forças intermoleculares. Das 525 respostas analisadas, em 321 foram detectadas

confusões conceituais entre as interações intermoleculares e as ligações químicas, sendo o principal equívoco a concepção de que a ligação hidrogênio é uma ligação covalente.

Em relação ao ensino deste conteúdo no nível médio, Giudice e Galagovsky (2008) detectaram que para compreender os conceitos relacionados às forças intermoleculares é preciso desenvolver a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. Segundo as autoras, são necessárias explicações prévias por parte docente em nível cinético molecular, que apresentem a heurística microscópica para a compreensão macroscópica dos fenômenos em estudo. Estratégias de ensino podem e devem ser adaptadas para auxiliar os estudantes do nível médio a modificar ou evitar equívocos, bem como reduzir a sua dependência pela mera memorização de conceitos na interpretação de fenômenos.

Diante do exposto, considera-se importante o desenvolvimento de investigações que visem contribuir com a melhoria do processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares neste nível escolarização. Neste sentido, a pesquisa assume um papel de destaque, pois a partir delas é possível desenvolver estratégias com vistas à minimização dos problemas relativos ao ensino deste tópico.

2.2.2.3 Base teórica e principais resultados

O resultado dessa análise encontra-se sistematizado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados encontrados referentes à base teórica

Base teórica			
Categoria	Subcategorias	Nº artigos	Ocorrência
<i>Construtivismo</i>	Construtivismo explícito	9	60,8%
	Citação de autores construtivistas	5	
	Retratam concepções alternativas	17	
	Total	31	
<i>Teoria sobre forças intermoleculares</i>	Teoria geral sobre forças intermoleculares	4	33,2%
	Teoria sobre ligações hidrogênio.	10	
	Teoria sobre forças de dispersão de London.	3	
	Total	17	
<i>Modelos mentais</i>	-	2	4,0%
<i>Aprendizagem Cooperativa</i>	-	1	2,0%

Fonte: Autores.

A teoria de aprendizagem predominante nas pesquisas foi o construtivismo, somando 31 investigações (60,8%). Desses artigos, 9 (17,6%) retratam o construtivismo de forma explícita, 5 trabalhos (9,8%) referenciam autores construtivistas nas fundamentações teóricas e 17 investigações (33,3%) não referenciam explicitamente, no entanto, esses estudos investigaram as concepções alternativas dos estudantes, linha de pesquisa vinculada à teoria construtivista.

O construtivismo possui influência significativa no ensino contemporâneo, principalmente na educação Química. De acordo com Cachapuz (2011), o consenso construtivista no ensino de Química tem sua origem em muitas investigações específicas relativas a diferenciadas estratégias no processo de ensino e aprendizagem, como a resolução de problemas, estudos de caso, mudança do modelo conceitual e atividades experimentais investigativas. O crescente número de investigações com essa perspectiva tem se fortalecido, principalmente, como forma de superar o paradigma da aprendizagem por transmissão-recepção. A teoria construtivista se apresenta como uma proposta que contempla a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento e não a simples assimilação e acumulação do conhecimento adquirido, por meio do professor ou livros didáticos.

Dentro da perspectiva construtivista, observou-se uma tendência na análise das concepções alternativas (GALAGOVSKY e BEKERMAN, 2009; NERY et al., 2007; HENDERLEITER et al., 2001; EARLES, 1995). De maneira geral, os autores enfatizaram a importância das concepções alternativas no processo de construção do conhecimento. O modelo que possivelmente teve maior influência na pesquisa em educação científica foi o chamado modelo de mudança conceitual (MMC), embasado epistemologicamente nos trabalhos de Kuhn, Lakatos e Toulmin (POSNER et al., 1992). Desta maneira, com o surgimento das ideias construtivistas o aluno ganhou mais espaço, tendo suas concepções valorizadas, tornando-se sujeito ativo no processo de aprendizagem.

Em relação à categoria “Teoria sobre as forças intermoleculares”, encontrou-se 17 trabalhos (33,2%), sendo que 4 deles (7,8%) retrataram aspectos gerais, sem distinguir os diferentes tipos de interações, 10 (19,6%) e 3 (5,8%) abordaram, respectivamente, as ligações hidrogênio e forças de London.

O forte interesse pelas ligações hidrogênio está relacionado à importância desse conceito como um princípio básico de todas as áreas da Química. É preciso que os estudantes compreendam e analisem situações em que as ligações hidrogênio ocorrem, a fim de entender os mecanismos das reações, solubilidade e espectroscopia. Algumas pesquisas (HENDERLEITER et al., 2001; WEINHOLD e KLEIN, 2014) detectaram que os livros de

Química Geral apresentam muitas variações sobre a explicação desse conceito, o que dificulta a compreensão da relação, por exemplo, da química geral com a química orgânica. O entendimento de um conceito complexo, como a ligação hidrogênio, bem como a capacidade de aplicá-lo em uma variedade de situações não é uma tarefa trivial. Os autores defendem que para uma aprendizagem sólida deste conceito, os estudantes precisam compreender: como as forças intermoleculares se diferenciam das ligações químicas; as propriedades termodinâmicas de sólidos, líquidos e gases; eletronegatividade e polaridade.

Também foram detectados dois trabalhos (4%) que utilizaram a teoria dos modelos mentais como fundamentação de suas pesquisas. A pesquisa de Galagovsky et al. (2009) investigou os modelos mentais de professores sobre os fenômenos de solubilidade, insolubilidade e formação de emulsão para identificar suas dificuldades na construção de modelos explicativos sobre as forças intermoleculares, bem como os possíveis obstáculos à aprendizagem. A aprendizagem Cooperativa foi identificada como sendo a base teórica de apenas uma investigação.

Em relação aos artigos que apresentaram estratégias de ensino, encontrou-se uma diversidade de propostas para o desenvolvimento de forças intermoleculares: 09 trabalhos (17,8%) utilizaram software computacionais como ferramenta de ensino; 06 (11,8%) desenvolveram atividades experimentais de caráter investigativo e 03 (5,9%) de caráter demonstrativo; 07 (13,7%) desenvolveram atividades de modelagem; 05 (9,8%) utilizaram atividades baseadas em problemas; 02 (4%) apresentaram propostas contextualizadas; e, apenas, um utilizou jogos didáticos.

A partir da quantidade de estratégias diferenciadas, infere-se que existe uma preocupação com o processo de ensino e aprendizagem do tópico de forças intermoleculares. No geral, as pesquisas (BERKA e KILDAH, 1994; HESSLEY, 2000; SANTOS e GRECA, 2005; CSIZMAR et al., 2011; IMBRAIM et al., 2013; BARBOSA et al., 2015) retrataram o cenário de dificuldades na compreensão deste tópico, bem como desenvolveram mecanismos com o objetivo de auxiliar educadores químicos e estudantes.

Partindo do pressuposto que a presente pesquisa pode esclarecer as contribuições científicas, didáticas e pedagógicas das investigações analisadas, os principais resultados apresentados nos artigos foram sistematizados em duas subcategorias: *Concepções alternativas mais recorrentes* e *Contribuições para a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria*.

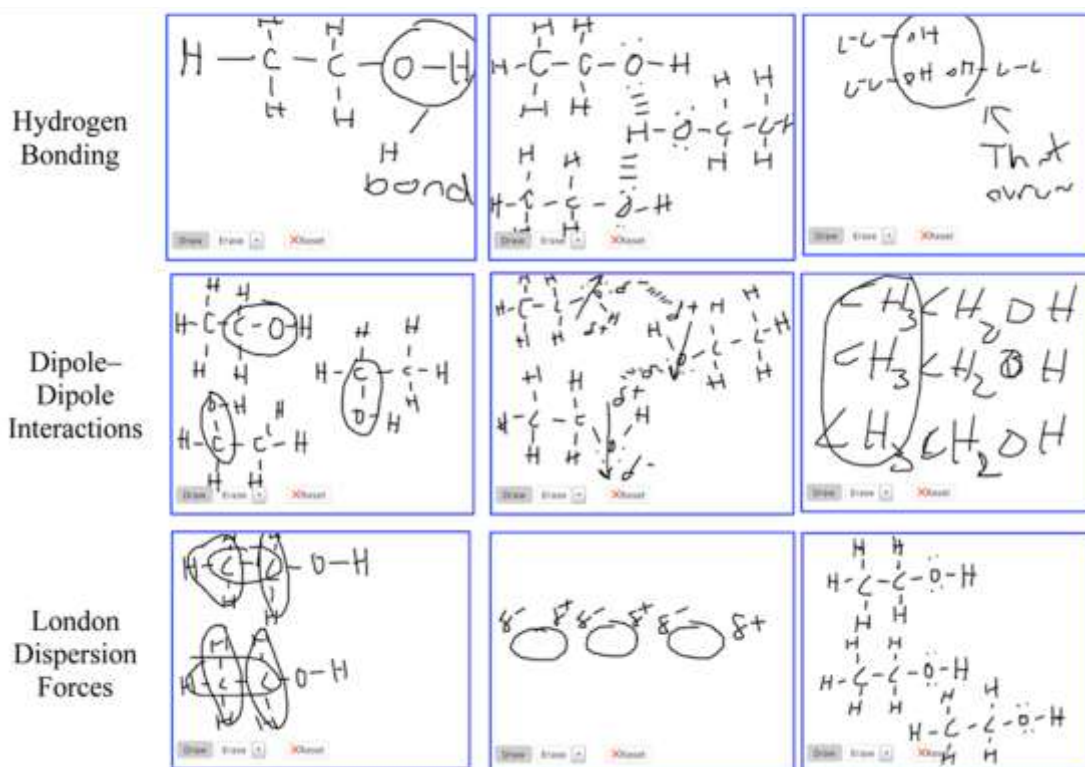
- Concepções alternativas mais recorrentes

Estudos sobre as concepções alternativas foram identificados em artigos com uma diferença temporal de aproximadamente 17 anos (WENVIK et al., 1998; COOPER et al., 2015) e algumas pesquisas evidenciaram que elas estão presentes tanto no nível básico como no superior (WILLIAMS et al., 2015). A seguir, são apresentadas as concepções alternativas mais recorrentes sobre as interações intermoleculares:

1. Não há diferenças significativas entre as forças intermoleculares e as ligações químicas (WENVIK, 1998; COOPER et al., 2015);
2. As forças intermoleculares são mais fortes que as ligações intramoleculares (TARHAN et al., 2008);
3. Existe ligação hidrogênio em todas as moléculas que possuem hidrogênio e a força dessa interação é medida pela quantidade de hidrogênios que a molécula possui, por exemplo, as interações entre as moléculas do CH_4 são mais intensas do que as do NH_3 (GALAGOVKY et al., 2009);
4. Há quebra das ligações químicas quando um sólido funde (SMITH e NAKHLE, 2011; SENDUR, 2014);
5. No processo de ebulição, as moléculas de água são quebradas e as bolhas observadas são efeitos dos átomos de oxigênio e hidrogênio (BARBOSA et al., 2015; SCHMIDT et al., 2009);
6. A agitação e aquecimento são requisitos essenciais para o processo de dissolução (WEINHOLD e KLEIN, 2014);
7. A interação molecular, por exemplo, no CF_4 é maior que no OF_2 , pois há quatro ligações polares no CF_4 (WANG e BARROW, 2013).

Um dos maiores problemas detectados é a confusão existente entre as interações intermoleculares e as ligações químicas, como observado nas concepções alternativas apresentada nos itens (1), (4) e (5). Cooper et al. (2015) desenvolveram um estudo para detectar as principais dificuldades sobre esse assunto e, para isso, aplicaram um exercício no qual os estudantes deveriam desenhar e explicar as forças que atuam nas moléculas do etanol (Figura 32).

Figura 32 – Resultados do estudo desenvolvido por Cooper et al. (2015)

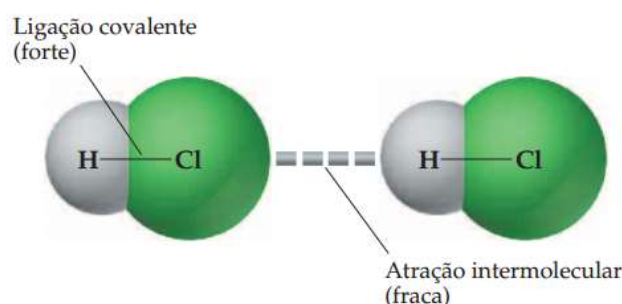


Fonte: (COOPER et al., 2015).

Segundo os autores, dos 94 estudantes universitários investigados, apenas 14 (15%) identificaram que a ligação hidrogênio ocorre em moléculas distintas. Desses acadêmicos, apenas 09 (9,6%) descreveram que a ligação hidrogênio ocorre entre o hidrogênio de uma determinada molécula e o oxigênio da outra. Entretanto, 68 estudantes (72%) representaram essa interação por meio da ligação entre os átomos de oxigênio e hidrogênio (O-H) dentro de uma única molécula de etanol. O mesmo ocorreu com as representações das interações dipolo-dipolo e forças de London, evidenciando que a confusão entre as interações intermolecular e as ligações químicas prevalece.

Falar em interação química entre moléculas remete às atrações e repulsões entre as espécies envolvidas, sem que ocorra a ruptura ou formação de novas ligações químicas. Assim, o limite entre uma ligação química e uma interação está associado à sobreposição de orbitais e, conseqüentemente, à energia resultante do processo. É fundamental que os estudantes compreendam que quando uma interação química entre as espécies é rompida, ocorrem mudanças nas propriedades físicas das substâncias. Entretanto, quando as ligações intramoleculares são rompidas ocorre formação de novas substâncias. A Figura 33 ilustra a diferença entre forças intermoleculares e intramoleculares (CHANG, 2006).

Figura 33 – Ligações intramoleculares entre átomos de hidrogênio e cloro e ligações intermoleculares entre moléculas de HCl, Chang (2006)



Fonte: (CHANG, 2006).

Os autores alertam que estas diferenças precisam ser abordadas, embora pareça trivial para os professores, não são tão óbvias para os estudantes. Além disso, se essas confusões permanecerem, não haverá a correta compreensão dos conceitos relacionados às transformações físicas da matéria, soluções e reações químicas. Isso é evidenciado nas concepções alternativas apresentadas nos itens (4) e (5), que mostram a ideia de que transformações físicas, tais como a fusão e ebulição, ocorre pela quebra das ligações.

Nos itens (4), (5), (6) e (7) observam-se generalizações em relação à ligação hidrogênio, evidenciando a falta de pré-requisitos para o entendimento desse conceito, tais como carga, força eletrostática e polaridade. Usualmente, a intensidade da força intermolecular cresce de acordo com o aumento da massa molecular, devido ao acréscimo das forças de dispersão. Isso pode ser observado pelas temperaturas de ebulição dos compostos de hidrogênio do grupo 14 ($\text{CH}_4 < \text{SiH}_4 < \text{GeH}_4 < \text{SnH}_4$), em que o composto mais leve, CH_4 , é também o que apresenta o menor ponto de ebulição e o SnH_4 , com maior massa molecular, é o que apresenta temperatura de ebulição mais elevada. Entretanto, contrariando essa tendência, podem ser citados os compostos de hidrogênio formados com átomos dos grupos 15, 16 e 17. Em cada uma dessas séries, os compostos com menores valores de massa molecular (NH_3 , H_2O e HF) são os que apresentam os pontos de ebulição mais elevados. Esta observação indica que as interações intermoleculares nas moléculas de NH_3 , H_2O e HF são mais intensas que as das outras moléculas do seu grupo (CHANG, 2006). Desta maneira, seu ponto de ebulição elevado, sugere a presença de forças atrativas muito fortes entre as moléculas, nesse caso, a ligação hidrogênio.

Segundo Wang e Barrow (2013), a falta de qualquer pré-requisito pode resultar em equívocos e deficiências no entendimento conceitual, salientando que as concepções alternativas encontradas fornecem, aos professores de Química, informações sobre como os

conceitos então interligados na estrutura cognitiva do estudante. Desta forma, sugere-se que o professor planeje suas atividades didático-pedagógicas levando em consideração os pré-requisitos essenciais para a compreensão dos conceitos.

O item (6) revela dificuldades dos estudantes em relação ao processo de dissolução, os quais desconsideram as interações entre soluto e solvente para explicar esse processo. Smith e Nakhle (2011) relataram que alguns estudantes, ao preverem a dissolução de certos compostos orgânicos em água, não levaram em consideração os grupos funcionais (tais como grupos OH ou NH), em vez disso, se preocuparam com elementos específicos, tais como o oxigênio, carbono ou hidrogênio. A respeito das concepções sobre como a agitação e o aquecimento podem afetar o processo de dissolução, os autores detectaram que alguns estudantes consideraram esses procedimentos requisitos essenciais para a dissolução de uma substância em outra e afirmaram que as forças intermoleculares são quebradas pelas colisões entre as partículas do soluto e solvente causada pela agitação e aquecimento, pois o calor é um catalisador para a reação.

Diante do exposto, fica evidente que os estudantes: confundem forças intermoleculares com ligações químicas; associam as propriedades físicas da matéria com quebra das ligações intramoleculares; não conseguem estabelecer relações coerentes entre a polaridade da ligação, força eletrostática e intensidade das forças intermoleculares; não relacionam satisfatoriamente o processo de dissolução com as interações intermoleculares.

Apesar de muitos autores apontarem as concepções equivocadas dos estudantes, há também relatos de propostas de superação dessas concepções. Em relação a isso, muitas pesquisas discutem as contribuições para o processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares por meio de abordagens que relacionem os três níveis de representação da matéria, bem como o desenvolvimento de estratégias que coloquem o aluno no centro do processo educativo.

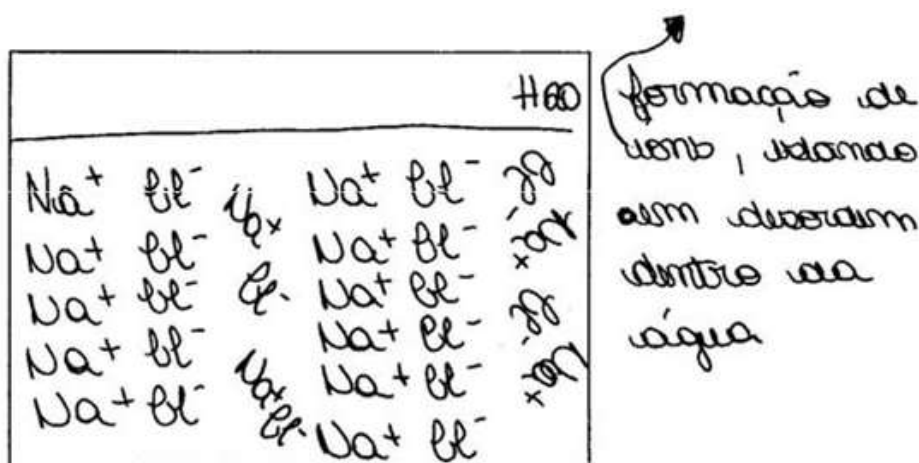
- Contribuições para capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria

A Química é uma disciplina complexa que exige constantemente que os estudantes transitem entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico para explicar os fenômenos em estudo. Utiliza uma linguagem verbal com um vocabulário específico, cujo significado pode ser de difícil compreensão para estudantes do ensino médio. No nível macroscópico os fenômenos são observáveis, no microscópico o processo químico é explicado pelo arranjo e

movimento de moléculas, átomos ou partículas subatômicas. A linguagem química é, muitas vezes, expressa por símbolos, números, fórmulas, equações e estruturas. As compreensões microscópicas e simbólicas são, em especial, difíceis, pois são abstratas e o pensamento dos estudantes é construído sobre a informação sensorial. Além disso, os estudantes não estabelecem relações apropriadas entre o nível macro e o microscópico e ainda, muitos até possuem o conhecimento conceitual e habilidade de visualizar, entretanto são incapazes de transitar de uma representação química a outra.

Santos e Greca (2005) sinalizam que mesmo no ensino superior, as dificuldades são recorrentes, principalmente por falta de conceitos prévios para a compreensão das forças intermoleculares, tais como: hidratação dos íons, carga, força eletrostática, dipolo elétrico da água, polaridade e eletronegatividade. Até apresentam alguma habilidade para representar macroscopicamente alguns fenômenos, mas não dominam os conceitos, como por exemplo, as ideias propostas para o sistema “*Um cristal de sal (NaCl) é dissolvido na água*”, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Representação de um cristal de NaCl dissolvido em água



Fonte: (SANTOS e GRECA, 2005).

É possível perceber que a representação possui ausência de alguns conceitos necessários para a compreensão da solubilidade (ou de interação entre íon-dipolo ou de hidratação), além de dificuldades com as representações pictóricas, utilizando, predominantemente, representações macroscópicas. O ensino de forças intermoleculares precisa fornecer subsídios consistentes para que o estudante consiga representar uma situação microscopicamente, que parte de um fenômeno macroscópico, representando não apenas os

objetos desse fenômeno como as suas relações, que não são próprias ou visíveis no mundo macroscópico, mas que somente possuem validade em nível micro.

Dentro deste contexto, diversas estratégias de ensino vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de minimizar essas barreiras para o aprendizado do conteúdo de forças intermoleculares.

Burkholder e Purser (2008) desenvolveram um estudo utilizando ferramentas de simulação computacional para promover a aprendizagem desses conceitos. Segundo o autor, os softwares utilizados permitiram aos estudantes a visualização do comportamento cinético molecular de diferentes sistemas químicos. Os modelos tridimensionais gerados por computador, ou seja, as representações pictóricas de moléculas, fornecem a distribuição da densidade eletrônica de elétrons permitindo aos estudantes visualizarem conceitos de polaridade, eletronegatividade e relacionarem com as interações intermoleculares, bem como com as propriedades físicas dos compostos. Os resultados indicam que o uso de simulações computacionais promove aprendizagem conceitual e apropriação representacional (simbólica e microscópica) por parte do estudante, bem como fornece representações visuais para a resolução de problemas e explicações dos fenômenos macroscópicos.

Broman e Parchmann (2014), com o objetivo de sanar os equívocos relacionados aos conceitos de forças intermoleculares, propõem a utilização de *kits* de modelo atômico para ilustrar, em nível microscópico, os tipos de interações existentes entre as moléculas. No nível macroscópico, os professores podem utilizar estruturas de Lewis discutido as propriedades, tais como pontos de ebulição, fusão, eletronegatividade e polaridades, para demonstrar os efeitos que forças intermoleculares exercem nas propriedades físicas dos compostos.

Domínguez et al. (2015) desenvolveram sequências de atividades experimentais para abordar a tensão superficial de diferentes substâncias e relacioná-las com a natureza das interações entre as moléculas. Os autores comentam que para o ensino de Química Geral, em nível universitário, é essencial a busca de novas estratégias para superar alguns problemas de aprendizagem, especialmente para os conceitos complexos que exigem altos níveis de abstração, como é o caso das forças intermoleculares. Segundo os autores, tal compreensão envolve uma exigência tripla: requer a compreensão do conceito a nível macroscópico, o que significa a aplicação do conceito em diferentes contextos; compreender o significado do conceito em nível microscópico, como um processo que ocorre em nível atômico-molecular; estabelecer relações entre os níveis microscópicos e macroscópicos através da utilização de representações simbólicas, esquemas, fórmulas e equações químicas.

Dentro deste contexto, a implementação de atividades experimentais evidenciou melhorias importantes, que possibilitaram associações entre os tipos das forças envolvidas e sua relação com as estruturas e propriedades macroscópicas das substâncias. Além disso, os autores fundamentaram-se no trabalho do professor Alex Johnstone (1983), o qual se refere ao vértice do conhecimento macroscópico (nível descritivo), representado pelas determinações de tensão superficial mensuráveis; o vértice das forças intermoleculares, que são parte microscópica da química, e o terceiro vértice, que é descrito por um padrão geométrico molecular (nível representativo). Por fim, os autores afirmam que estes processos são favorecidos por um sistema participativo, por exemplo, por meio de atividades experimentais, e contribui para a construção de um conhecimento mais sólido e profundo, quando comparado aos resultados obtidos com estudantes que aprenderam o conteúdo de forças intermoleculares por meio da metodologia tradicional.

Em síntese, os resultados das pesquisas analisadas demonstraram que as concepções alternativas dos estudantes evidenciam um obstáculo significativo na aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares, incumbindo ao professor à tarefa de desenvolver estratégias que superem esta barreira para o aprendizado deste conteúdo. A adoção de metodologias diferenciadas (aprendizagem cooperativa, resolução de problemas, atividades investigativas, simulação computacional) tiveram bons resultados, bem como favoreceram as habilidades de compreender o conhecimento químico pelos três níveis de representação da matéria e são recomendadas para o processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares.

CAPÍTULO 3 – 2ª ETAPA – INVESTIGANDO AS SEQUÊNCIAS DE TRANSIÇÃO PROGRESSIVA DOS MODELOS EXPLICATIVOS

Conforme mencionado, este trabalho tem como foco investigar as sequências de transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes do nível médio. Desta forma, a pesquisa emergiu do seguinte problema: **“Como favorecer a transição progressiva das concepções dos estudantes sobre forças intermoleculares, por meio do desenvolvimento de sequências didáticas, voltadas para uma abordagem diferenciada deste tema?”**

Para responder este questionamento, foi desenvolvida uma investigação sobre a construção do conhecimento dos tópicos relacionados às forças intermoleculares, por meio da aplicação de uma sequência didática (SD). A seguir será apresentado o contexto da aplicação, bem como o aporte teórico da SD e a sua elaboração.

3.1 CONTEXTO DA APLICAÇÃO

Os sujeitos da pesquisa foram estudantes matriculados na 1ª série do ensino médio do Instituto Federal Farroupilha, localizado na cidade de Panambi, RS. Ao total, participaram da investigação 52 estudantes de dois cursos integrados (Automação industrial e técnico em Química). Ressalta-se que a autora da tese foi professora e pesquisadora, o que facilitou a escolha das referidas turmas.

O *Campus* Panambi do Instituto Federal Farroupilha teve sua história iniciada em 2008, a partir das tratativas realizadas junto ao MEC/SETEC. Instalou-se efetivamente no município no ano de 2010, ocupando uma área de aproximadamente 52 hectares, doada pela Prefeitura Municipal. Anteriormente à instalação do IF Farroupilha funcionava no local o horto municipal de Panambi, onde eram cultivadas mudas de espécies frutíferas e nativas, destinadas especialmente para a arborização urbana. O local ainda resguarda fragmentos de vegetação nativa e Áreas de Preservação Permanente, totalizando cerca de 40% da área total do *Campus*.

As obras para a instalação física tiveram início efetivo ainda em 2008 com a construção dos Blocos A (administrativo) e B (didático). Posteriormente procedeu-se com a construção do Bloco de Edificações, destinado para as atividades relacionadas com o Curso Técnico em Edificações e, atualmente, Automação Industrial. Além disso, o instituto possui

uma ampla biblioteca, oito laboratórios de informática, seis laboratórios de Química, três laboratórios de Biologia, ginásio de esportes e refeitórios.¹

3.2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Segundo Castro (2000), as sequências didáticas (SD) são atividades com nível progressivo de complexidade cognitiva em termos das abordagens que os estudantes devem desenvolver para resolver determinados problemas.

Para Zabala (1998), as SD são um conjunto de atividades ordenadas e articuladas para atingir os objetivos educacionais. Além disso, o autor afirma que a utilização dessa estratégia é uma ferramenta importante para investigar, refletir e melhorar a prática docente, uma vez que a SD expressa diferentes elementos da prática: decisões dos professores referentes à seleção e organização dos conteúdos, recursos, espaços, tempo, avaliar os impactos das atividades no processo de aprendizagem e proporcionar atividades que contribuam para a construção e reconstrução de conhecimentos.

Sendo assim, o ensinar se concretiza por meio de uma sequência de atividades, as quais se baseiam em estratégias didáticas, aplicadas pela experiência do professor. Ainda, segundo Zabala (1998):

[...] as sequências de atividades de ensino/aprendizagem, ou sequências didáticas, são uma maneira de encadear e articular as diferentes atividades ao longo de uma unidade didática. Assim, pois, poderemos analisar as diferentes formas de intervenção segundo as atividades que se realizam e, principalmente, pelo sentido que adquirem quanto a um sequência orientada para a realização de determinados objetivos educativos. As sequências podem indicar a função que tem cada uma das atividades na construção do conhecimento ou da aprendizagem de diferentes conteúdos e, portanto, avaliar a pertinência ou não de cada uma delas, a falta de outras ou a ênfase que devemos lhe atribuir (ZABALA, 1998, p. 20).

Desta forma, a utilização de SD, como recurso pedagógico, permite mudanças significativas na organização curricular, com evidência de ensino pautado em investigações, por meio de problematizações reais do cotidiano. Além disso, ao iniciar uma SD, é necessário realizar um levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, para a partir deles, planejar uma diversidade de atividades e desafios que levem em consideração o crescente grau de complexidade dos conteúdos abordados. Zabala (1998) ressalta que ao pensar na configuração das SD, é necessária a veiculação da informação científica com o contexto dos

¹ <https://www.iffarroupilha.edu.br/institucional-pb>

estudantes, o que não pode ser confundido com inclusão de elementos sociais, por meio de uma abordagem unilateral. Desta maneira, o ensino de Química não possui valor em si mesmo, mas com o objetivo maior de contribuir para a formação de cidadãos conscientes, informados e agentes de transformação da sociedade em que vivem.

Para a elaboração das SD, Zabala (1998) orienta o trabalho docente, por meio de um conjunto de funções que são necessárias para favorecer o processo de ensino e aprendizagem:

- (a) planejar a atuação docente de uma maneira suficientemente flexível para permitir a *adaptação às necessidades dos alunos* em todo o processo de ensino/aprendizagem;
- (b) contar com as *contribuições e os conhecimentos* dos alunos, tanto no início das atividades como durante sua realização;
- (c) ajudá-los a *encontrar sentido no que estão fazendo* para que conheçam o que têm que fazer, sintam que podem fazê-lo e que é interessante fazê-lo;
- (d) estabelecer *metas ao alcance dos alunos* para que possam ser superadas com o esforço e a ajuda necessários;
- (e) oferecer *ajudas adequadas*, no processo de construção do aluno, para os progressos que experimenta e para enfrentar os obstáculos com os quais se depara;
- (f) promover *atividade mental auto estruturante* que permita estabelecer o máximo de relações como o novo conteúdo, atribuindo-lhe significado no maior grau possível e fomentando os processos de meta cognição que lhe permitam assegurar o controle pessoal sobre os próprios conhecimentos e processos durante a aprendizagem;
- (g) estabelecer um ambiente e determinadas relações presididos pelo respeito mútuo e pelo sentimento de confiança, que promovam a *auto-estima e o autoconceito*;
- (h) promover *canais de comunicação* que regulem os processos de negociação, participação e construção;
- (i) potencializar progressivamente a *autonomia* dos alunos na definição de objetivos, no planejamento das ações que os conduzirão a eles e em sua realização e controle, possibilitando que aprendam a aprender;
- (j) avaliar os alunos *conforme suas capacidades e seus esforços*, levando em conta o ponto pessoal de partida e o processo por meio do qual adquirem conhecimento e incentivando a *autoavaliação* das competências como meio para favorecer as estratégias de controle e regulação da própria atividade. (ZABALA, 1998, p. 92-93).

Nesta perspectiva, Zabala (1998) também sugere que ao desenvolver uma SD é preciso criar objetivos que contribuam com as aprendizagens atitudinais, conceituais e procedimentais. Os conteúdos atitudinais estão relacionados com a formação de atitudes e valores veiculados a abordagem dos conceitos em sala de aula, com vistas à intervenção do aluno em sua realidade. Os conteúdos conceituais estão relacionados com a construção ativa de capacidades intelectuais para operar símbolos, imagens, ideias e representações, permitindo que o aprendiz aprenda a discernir o real do abstrato. Segundo Pozo e Crespo (2009): “Uma pessoa adquire um conceito quando é capaz de dotar de significado um material ou uma informação que lhe é apresentada, ou seja, quando “compreende” esse material; e compreender seria equivalente, mais ou menos, a traduzir algo para suas próprias palavras” (POZO e CRESPO, 2009, p. 82).

Os conteúdos procedimentais são um conjunto de ações coordenadas para a realização de um objetivo. Segundo Zabala (1998), esse conteúdo trata-se de aprendizagens vinculadas às ações, tais como: ler, elaborar modelos, desenhar, observar, classificar, relacionar, inferir, interpretar e se expressar com clareza, sejam oralmente ou por escrito. O aspecto procedimental está associado com o aprender a fazer, aprimorando os conceitos de forma prática.

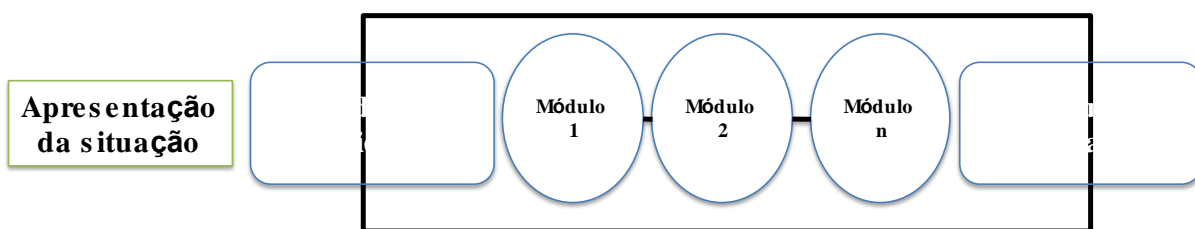
A necessidade de ensinar e aprender os conteúdos conceituais, atitudinais e procedimentais, vão ao encontro das Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2006):

[...] as escolhas sobre o que ensinar devem se pautar pela seleção de conteúdos e temas relevantes que favoreçam a compreensão do mundo natural, social, político e econômico. E, para isso, a forma de tratamento desses temas e conteúdos é determinante e deve contemplar o desenvolvimento de procedimentos, atitudes e valores (BRASIL, 2006, p.88).

Ou seja, o ensino de Química deve pautar suas aprendizagens em conteúdos, procedimentos e atitudes, de forma a integrar o aluno ao mundo e suas áreas de desenvolvimento.

Para operacionalizar a utilização das SD, Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004), destacam que elas podem ser desenvolvidas por meio da sequência representada na Figura 35.

Figura 35 – Esquema da sequência didática proposto por Dolz, Noverraz e Schneuwly



Fonte: (DOLZ, NOVERRAZ e SCHNEUWLY, 2004).

Na apresentação da situação, o professor formula um problema para que os alunos possam solucioná-lo, de modo que gere a necessidade de empregar os conteúdos para compreensão da problemática levantada. Os autores afirmam que neste momento, os estudantes precisam identificar o problema, buscar explicações e elaborar proposições de soluções.

Collins, Joseph e Bielaczyc (2004) defendem a necessidade de determinar um contexto a ser problematizado na SD. Essa problematização tem por objetivo fazer com que os

estudantes apresentem suas ideias iniciais sobre o assunto, bem como detectar suas possíveis limitações durante a explicação dos fenômenos analisados.

A produção inicial dos alunos, de acordo com Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004), pode ser desenvolvida por meio de questionários diagnósticos, elaboração de modelos explicativos, registros pictográficos e produção textual. Esse momento proporciona uma avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes e o ajuste, quando necessário, das atividades programadas, levando em consideração os conhecimentos que eles possuem, bem como suas potencialidades e dificuldades.

Neste contexto, a partir da década de 80 o ensino de Química passou a dar ênfase na construção do conhecimento pelo estudante, o que implicou profundas modificações no processo de ensino e aprendizagem, bem como questionamentos sobre a eficiência de metodologias que preconizavam apenas a memorização do conhecimento. As discussões pedagógicas derivadas de uma corrente epistemológica construtivista realçaram a existência e importância de conceitos espontâneos ou pré-concepções para o processo de aprendizagem.

Desta forma, configurou-se a necessidade de desenvolver a prática educativa, a partir das ideias prévias dos estudantes para se chegar à visão científica aceita pela comunidade científica. O professor, nesta perspectiva, atua como mediador da aprendizagem, capaz de promover conflitos cognitivos que fomentam a revisão, evolução e mudança das concepções e práticas.

Nos módulos são desenvolvidos os conteúdos e os problemas identificados na produção inicial, subsidiando ações necessárias para evolução conceitual e superação desses problemas. É importante que sejam proporcionadas atividades diversificadas, em etapas gradativas, do mais simples ao mais complexo.

Na etapa da produção final, o aluno tem a oportunidade de colocar em prática as aprendizagens adquiridas nos módulos e, com o professor, avaliar os avanços conquistados.

Ainda em relação à organização das SD, Guimarães e Giordan (2011) destacam alguns dos principais elementos estruturadores da SD, conforme especificado no Quadro 6.

Quadro 6 – Elementos estruturadores de uma SD

(continua)

Elemento estruturador	Descrição
Título	Apesar de ser um dos elementos da SD mais simples, o título não deve ser menosprezado, pois por si só é capaz de atrair a atenção ou, pelo contrário, criar resistências no alunado. Desta forma, enfatizamos que o título deve ser atrativo como também é necessário que ele reflita o conteúdo e as intenções formativas.

Quadro 6 – Elementos estruturadores de uma SD

(conclusão)	
Elemento estruturador	Descrição
Público Alvo	Um fato fundamental e pouco considerado é que as SD não são universais, não há um método definitivo válido em qualquer situação. Assim uma característica implícita da eficácia de um plano de ensino é quanto ele foi planejado segundo as condições sob as quais será submetido.
Problematização	A problematização é o agente que une e sustenta a relação sistêmica da sequência didática, portanto a argumentação sobre o problema é o que ancora a SD, através de questões sociais e científicas que justifiquem o tema e também que problematizem os conceitos que serão abordados.
Objetivos Gerais	Os objetivos propostos devem ser passíveis de serem atingidos, os conteúdos devem refletir tais objetivos, a metodologia deve propiciar para que sejam atingidos e a avaliação é uma das formas de se verificar se foram efetivamente alcançados.
Objetivos Específicos	Representam metas do processo de ensino-aprendizagem passíveis de serem atingidas mediante desenvolvimento da situação de ensino proposta (SD). São organizadores detalhados das intenções de ensino, que auxiliam a planejar tanto a escolha das metodologias mais pertinentes a tal situação didática como nas formas de avaliação.
Conteúdos	Promover a continuidade das várias unidades didáticas ao longo das aulas que compõe a sequência. (Organização por meio de unidades didáticas).
Dinâmica	As metodologias de ensino têm caráter fundamental, pois é principalmente através do desenvolvimento delas que as situações de aprendizagem se estabelecem. Dinâmicas variadas de ensino são importantes e necessárias desde que se mantenham fiel à estrutura e contexto social que a escola alvo ofereça.
Avaliação	Os métodos avaliativos precisam ser condizentes com os objetivos e com os conteúdos previstos na sequência didática. Desta forma, o que se avalia deve estar diretamente relacionado com o que se pretende ensinar.
Bibliografia Utilizada	Neste espaço devem ser apresentados os trabalhos utilizados para estruturar os conceitos, metodologias de desenvolvimento e/ou avaliação, ou seja, aqueles que foram utilizados na elaboração da SD ou que servem como material de apoio e estudo ao professor que irá aplicar tal Sequência Didática.

Fonte: (GUIMARÃES e GIORDAN, 2011).

Os autores destacam que a ordem de apresentação desses elementos não necessita ser seguida rigidamente, e sim tomada como uma sugestão. Esta apresentação é uma alternativa, dentre tantas possíveis, de ações e metodologia para auxiliar a prática pedagógica.

Desta forma, a partir do embasamento teórico apresentado, considera-se a SD como uma estratégia capaz de articular diferentes atividades com o objetivo de favorecer o processo de ensino e aprendizagem. Zabala (1998) defende que em seu planejamento podem ser agregadas diversas metodologias e recursos didáticos, tais como: aulas expositiva-dialogadas, atividades experimentais investigativas, jogos, demonstrações, elaboração de modelos, atividades de resolução de problemas, dinâmicas, fóruns, simulação computacional, entre outros.

A literatura da área de ensino ressalta que a SD pode ser utilizada como ferramenta tanto de pesquisa como de ensino, dando suporte teórico-metodológico para estas duas

abordagens (GUIMARÃES e GIORDAN, 2011; ZABALA, 1998; DOLZ, NOVERRAZ e SCHNEUWLY, 2004). Tanto no cenário nacional, como no internacional, as SD têm sido utilizadas como instrumentos de ensino e também como objetos de pesquisa, criando condições favoráveis para os estudantes se apropriarem de ferramentas culturais próprias da comunidade científica (ALMOULOUUD e COUTINHO, 2008), permitindo a análise desse processo e estimulando o diálogo entre a pesquisa no ensino de Química e a sala de aula.

Nesta perspectiva, planejou-se um conjunto de atividades sequenciais, fundamentadas em atividades experimentais, modelagem e situações problema. O principal objetivo didático da SD elaborada nesta pesquisa é proporcionar aos estudantes a construção do conhecimento referente ao conteúdo de forças intermoleculares. Além disso, o principal objetivo da pesquisa é investigar se os modelos explicativos dos estudantes formam sequências de transição progressiva.

3.2.1 Elaboração da SD

A SD foi organizada com base nos pressupostos teóricos recomendados por Zabala (1998) e na adaptação dos critérios estruturantes propostos por Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004) e Guimarães e Giordan (2011). Em relação aos conceitos relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares, optou-se por desenvolver os tópicos essenciais para a compreensão da natureza das interações intermoleculares, bem como sua influência nas propriedades físicas dos materiais, moléculas polares e não polares (polarizabilidade), variações do ponto de fusão e ebulição, formação de dipolos instantâneos, comparação entre as forças intermoleculares e representações macroscópicas (fenômenos do cotidiano) e submicroscópicas envolvendo os conceitos de forças intermoleculares.

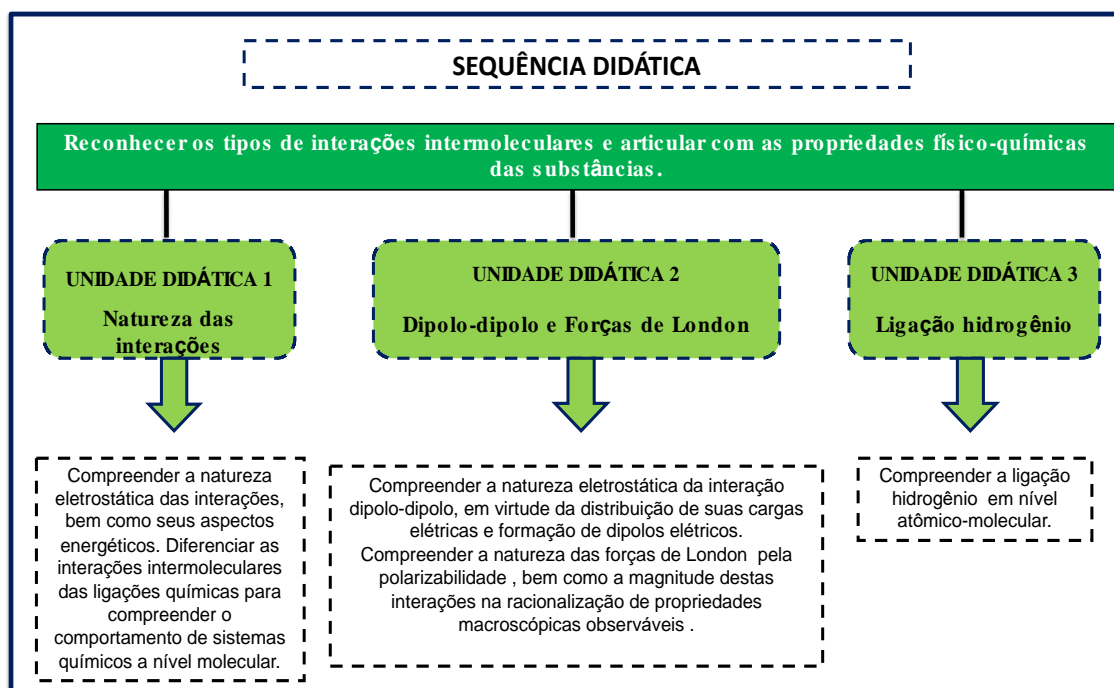
O efetivo aprendizado em Química implica na compreensão de três aspectos fundamentais: a observação dos fenômenos naturais (nível macroscópico), a representação deste universo em linguagem científica (nível simbólico) e o real entendimento do universo das partículas como átomos, íons e moléculas (nível submicroscópico) (JOHNSTONE, 1993).

A interligação entre estes níveis pressupõe o verdadeiro entendimento e o domínio do conhecimento químico. Desta forma, a compreensão das propriedades macroscópicas das substâncias presentes no cotidiano pode ser interpretada submicroscopicamente pelo conhecimento científico abordado na SD. Assim sendo, a sequência foi elaborada em três unidades didáticas: natureza das forças intermoleculares, força de London e dipolo-dipolo e ligação hidrogênio.

Destaca-se que ao longo do desenvolvimento da SD, foram levadas em consideração as concepções prévias dos estudantes em relação aos tópicos em questão. Além disso, as atividades propostas possuíram como objetivo identificar dificuldades e lacunas na aprendizagem dos conceitos, para que se possam propor ações que subsidie a superação desses obstáculos à aprendizagem.

Seguindo as orientações propostas por Guimarães e Giordan (2011), elencou-se um objetivo geral para a SD e objetivos específicos para cada unidade didática, relacionados à construção do conhecimento dos conceitos referentes às forças intermoleculares. Cada unidade elaborada possui seus objetivos específicos que corroboram para alcançar o objetivo geral da SD. A Figura 36 apresenta o objetivo geral da SD e os objetivos específicos de cada unidade.

Figura 36 – Organização da SD



Fonte: Autores.

Ressalta-se que durante a SD, houve explicitamente a preocupação em desenvolver nos estudantes uma imagem de Ciência aceita pela comunidade científica. Cada unidade didática que compõe a SD iniciou com uma problematização, ou seja, uma questão inicial que irá norteou a investigação realizada pelos estudantes nas demais atividades. Este problema inicial tem o objetivo de instigar, estimular e provocar os estudantes na busca de soluções. Segundo Carvalho (2013), uma abordagem investigativa na SD deve:

[...] proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores (CARVALHO, 2013, p. 45).

É importante destacar que em relação à dinâmica do processo de ensino e aprendizagem, assume-se os pressupostos teóricos e metodológicos de uma epistemologia racionalista/construtivista. Segundo Cachapuz (2011), o conhecimento sobre a epistemologia, por parte docente, fundamenta a ação didático-pedagógica, favorecendo a mudança de concepções e representações sobre a construção do conhecimento em sala de aula. Além disso, contribui para a compreensão da capacidade cognitiva e das dificuldades de aprendizagem dos alunos. Porlán et al. (1997) detectaram que professores com tendências mais racionalistas/construtivistas estão mais preparados no sentido de proporcionar aos alunos uma mudança conceitual, pois suas ideias a respeito do processo de ensino e aprendizagem consideram as concepções dos estudantes como um conhecimento alternativo, ou seja, aquilo que o sujeito já sabe influencia na aprendizagem, concebendo-a como evolução, reorganização ou mudança de concepções. Nesta perspectiva, o conhecimento não é transmitido, mas construído ativamente.

Portanto, as metodologias propostas apresentam um caráter investigativo, centradas em problemas. As unidades didáticas que compõe a SD serão desenvolvidas por meio de estratégias que coloquem o aluno no centro do processo educativo, tais como: resolução de problemas, atividades de modelagem e atividades experimentais. O papel do professor, neste processo, é o de mediador da construção do conhecimento.

Para Maués e Lima (2006), o ensino de Ciências por investigação é uma importante ferramenta para o ensino e aprendizagem. Nesta perspectiva, os estudantes são desafiados em processos investigativos, envolvem-se com sua aprendizagem, formulam hipóteses, analisam evidências e relatam os seus resultados. Em um ambiente de ensino e aprendizagem baseados nos pressupostos investigativos, estudantes e professores dividem a responsabilidade de contribuir com a construção do conhecimento. Desta maneira, o professor deixa de ser o único a fornecer conhecimentos e os estudantes deixam de meros receptores de informação.

Em relação às atividades experimentais, elas podem ser utilizadas com diferentes objetivos e fornecer variadas e importantes contribuições para o processo de ensino e aprendizagem em Ciências. Dentre essas contribuições, Oliveira (2010) destaca: motivar e despertar a atenção dos alunos, desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo, desenvolver a iniciativa pessoal e a tomada de decisão, estimular a criatividade, aprimorar a capacidade de

observação e registro de informações, aprender a analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos, aprender conceitos científicos, detectar e corrigir erros conceituais dos alunos, compreender a natureza da ciência e o papel do cientista em uma investigação, compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade e aprimorar habilidades manipulativas.

Dentro dessa perspectiva, segundo a epistemologia indutivista, as atividades experimentais no ensino de Ciências são geralmente orientadas por um conjunto de instruções, nas quais são sequenciadas linearmente, seguindo roteiros e procedimentos pré-estabelecidos. Neste tipo de concepção, os alunos fazem anotações e manipulam instrumentos sem saber os objetivos da experimentação, o que conseqüentemente, pouco favorece sua aprendizagem (BASSOLI, 2014). Logo, é importante evitar atividades experimentais que induzam a visão de Ciência neutra, ainda presente em muitas práticas escolares.

Em oposição a essa concepção, as atividades experimentais podem assumir um caráter construtivista e possibilitar a reelaboração, reestruturação e reconstrução do conhecimento (GONÇALVES e MARQUES, 2006). Dessa forma, deve-se buscar desenvolver no estudante a capacidade de elaborar seus próprios argumentos, através de atividades experimentais que partam da problematização de situações reais, na qual o aluno deve entendê-las e procurar solucioná-las, permitindo que reflita e questione sobre a prática e a teoria. Nessa perspectiva, a atividade experimental pode ser uma eficiente metodologia para o ensino de Ciências.

A experimentação pode ser entendida como uma intervenção que possibilita relacionar os conceitos teóricos com o dia a dia do aluno, evidenciando a relação da Ciência com a realidade. Além disso, pode auxiliar os estudantes no desenvolvimento de sua capacidade de investigar, questionar e argumentar sobre teorias e fórmulas. Ainda, segundo Galiazzi e Gonçalves (2004), realizar um experimento seguido de discussão para interpretação de resultados é uma atividade extremamente rica em termos de aprendizagem. Diante disso, torna-se importante o planejamento de atividades experimentais que coloquem o estudante frente a situações problema, pois além de estimulá-lo a levantar hipóteses e questionamentos, proporciona também, a construção do próprio conhecimento.

Além das atividades experimentais, escolheu-se trabalhar com a modelagem por que as dificuldades associadas ao ensino e aprendizagem de Química estão associadas ao aspecto abstrato dessa ciência. Segundo Ferreira e Justi (2005), a compreensão dos fenômenos químicos exige não apenas a repetição ou aplicação de conceitos previamente memorizados, mas sim a formulação de hipóteses, associadas à criatividade, à lógica e aos conhecimentos anteriores na tentativa de compreender os modelos que explicam o mundo natural.

Para Gilbert e Boulter (1995) um modelo é definido como uma representação parcial de um objeto, processo ou ideia. A sua elaboração deve atender propósitos específicos como, por exemplo, facilitar a visualização; fundamentar elaboração e teste de novas idéias; e possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado. Um modelo não é uma cópia fidedigna da realidade, muito menos representa uma verdade absoluta, mas um conjunto de ideias originadas a partir de interpretações pessoais. Em relação a isso, Ferreira e Justi (2005) destacam:

Os modelos estão no centro de qualquer teoria: são as principais ferramentas usadas pelos cientistas para produzir conhecimento e um dos principais produtos da ciência. A construção e o emprego de modelos são fundamentais no processo da pesquisa científica, fazendo parte do processo natural de aquisição do conhecimento pelo ser humano. Esse processo é inerente ao pensamento de todas as pessoas, cientistas ou leigos, mesmo que com graus de organização e complexidade diferentes (FERREIRA e JUSTI, 2005, p.38).

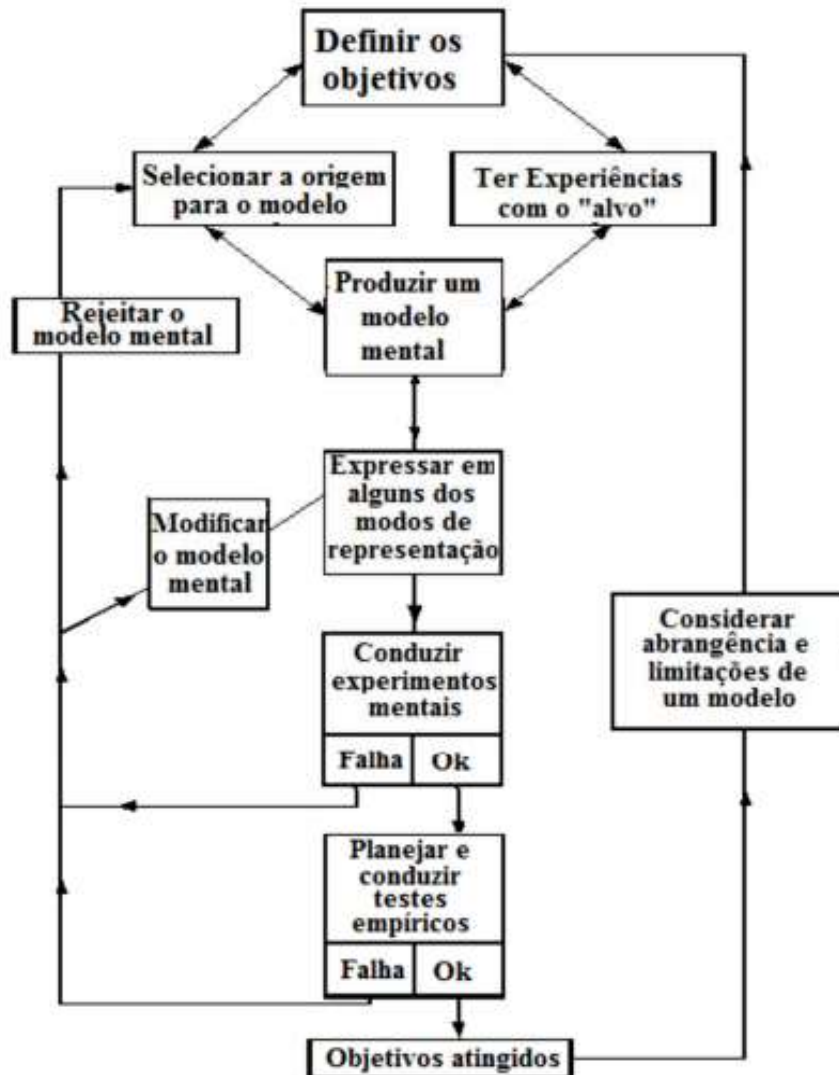
Esses aspectos corroboram com Mendonça (2008) ao destacar, em alguns tópicos, o interesse do ensino de Ciências em utilizar modelos:

- São a base do raciocínio científico;
- Fundamentam a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade;
- Facilitam a comunicação do conhecimento científico
- São agentes que simplificam fenômenos complexos ou uma teoria;
- Favorece a visualização de entidades abstratas.

Desta forma, a modelagem pode permitir ao aluno perceber a complexidade e as limitações envolvidas no processo de construção do conhecimento, apresentando-o por meio de dúvidas, incertezas, como também o caráter dinâmico, humano e não linear da Ciência, diferente da exatidão com que o conhecimento escolar é frequentemente apresentado.

Segundo Mendonça (2008), a atividade de modelagem compreende o seguinte processo não linear: elaboração, reformulação, teste e exploração das potencialidades dos modelos. Justi e Gilbert (2002) desenvolveram um esquema para ilustrar as etapas mais relevantes na elaboração de modelos. O esquema intitulado “Modelo de Modelagem” está ilustrado na Figura 37. Os autores afirmam que esse processo não é unilateral e as etapas, não necessariamente, precisam ser seguidas de forma linear.

Figura 37 – Diagrama Modelo de Modelagem



Fonte: (JUSTI e GILBERT, 2002).

A atividade de modelagem se inicia com a apresentação do fenômeno a ser estudado e com a definição dos objetivos que se pretende alcançar. A elaboração do modelo será direcionada por alguma experiência inicial do fenômeno a ser modelado, que pode ser um estudo do sistema em análise, propriedades físicas e químicas a serem contempladas durante a elaboração, aquisição de informações em fontes externas, como livros e artigos. Em paralelo a isso, é necessário instituir a origem do modelo, ou seja, selecionar fontes, analogias ou recursos matemáticos que servirão de base para a proposição do modelo em questão. Por meio da interação entre a experiência inicial do fenômeno e a seleção da fonte de origem do modelo conduzem a elaboração de um modelo mental.

O modelo elaborado pode ser modificado se for necessário, para isso, deve ser submetido a testes. A etapa de testes ocorre através de experimentos mentais ou de experimentos empíricos. Neste último caso, inserem-se testes de validação dos modelos por meio de atividades experimentais e fornecimento de informações sobre as substâncias e dos fenômenos em estudo.

Segundo Justi e Gilbert (2002), existem duas possibilidades após a realização dos testes. Na primeira, o modelo elaborado pelos estudantes não explica e não é compatível com as informações fornecidas nos testes obtidos, havendo a necessidade de reformulações. Na segunda, o modelo proposto fornece explicações que estão de acordo com os dados disponibilizados e obtidos. Enfim, os modelos elaborados são apresentados e discutidos com a turma e, se houver concordância geral, será reconhecida sua validade.

Desta forma, o princípio básico da SD é que os estudantes construam ativamente seus conhecimentos sobre forças intermoleculares, por meio de situações problemas, atividades de modelagem e experimentais. Para isso, a SD propõe diversas atividades, tais como: leitura e interpretação de textos científicos, desenvolvimento de experimentos, modelagem, discussões em grupos, estudos dirigidos e resolução de situações problema. A seguir será descrita a SD planejada.

3.3 DESCRIÇÃO DA SD

Antes de iniciar a SD, foi aplicado um questionário inicial (Apêndice B) para as turmas investigadas. O objetivo desse instrumento foi questionar as concepções dos estudantes referentes às forças intermoleculares e outros conceitos relacionados com este tópico, tais como: polaridade, solubilidade e propriedades físicas. O questionário também buscou identificar se os estudantes conhecem e se sabem diferenciar as forças intermoleculares e intramoleculares, bem como representá-las. A seguir será descrito detalhadamente os objetivos e atividades propostas para cada unidade didática que constitui a SD.

3.3.1 Unidade didática 1: Natureza das interações intermoleculares

Conforme já mencionado, o objetivo geral da SD foi construir o conhecimento referente às forças intermoleculares. O Quadro 7 apresenta de forma sucinta o planejamento da unidade didática 1, especificando o problema inicial, objetivos e uma descrição resumida

das atividades. É importante ressaltar que durante o desenvolvimento das aulas teóricas das SD, foram retomados os conceitos de ligações químicas, eletronegatividade, caráter iônico, geometria molecular e polaridade.

Quadro 7 – Problemas, objetivos e atividades da unidade didática 1

Unidade didática 1 – Natureza das interações intermoleculares		
<p>Problema inicial: Primeiramente, represente, por meio de desenhos, o ciclo hidrológico da água, caracterizando todas as transformações citadas no texto. Sabe-se que a água quimicamente pura, apresenta-se nos estados sólido, líquido ou gasoso, é constituída unicamente de partículas de H₂O. Como explicar, em nível atômico-molecular, o que ocorre para que a</p>		
<p>água possa existir nesses três estados físicos? Proponha um modelo que explique este comportamento.</p>		
Objetivos gerais	Objetivos específicos	Atividades desenvolvidas
<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a natureza eletrostática das interações intermoleculares, bem como seus aspectos energéticos; - diferenciar interações intermoleculares de interatômicas. - Compreender as propriedades das substâncias moleculares, por meio do estudo de diferentes interações entre as moléculas. 	<ul style="list-style-type: none"> - proporcionar aos estudantes a compreensão que uma interação química significa que as moléculas se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra a quebra ou a formação de novas ligações químicas; - relacionar propriedades de temperaturas de fusão e de ebulição, solubilidade e estruturas para explicar microscopicamente os diferentes comportamentos das substâncias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação das concepções prévias dos estudantes, por meio da aplicação de questionários e situações problema; - Atividade experimental - Pesquisa em artigos e livros didáticos; - Elaboração de modelos que expressam a compreensão sobre as diferenças entre as ligações químicas e as forças intermoleculares; - Discussão e debate sobre o problema inicial e as atividades desenvolvidas;

Fonte: Autores.

Para execução desta unidade foram necessárias três aulas, com duração de duas horas/aula cada, totalizando 6 horas/aula. Ressalta-se que as atividades nessa unidade didática foram elaboradas embasadas na adaptação das ideias de São Paulo (2014).

Inicialmente foi aplicado um questionário diagnóstico inicial (Apêndice C) com o objetivo de identificar as concepções prévias dos estudantes a respeito da natureza das forças intermoleculares, diferenças entre as ligações intramoleculares e as interações intermoleculares, influência dessas interações nas propriedades físicas da matéria, polaridade e solubilidade. É importante ressaltar que os estudantes foram conscientizados sobre a importância de responder individualmente as questões propostas.

Em seguida, foi apresentado o problema inicial (Quadro 7) para a turma. Neste momento, foi solicitado aos estudantes que escrevam suas ideias e levantem hipóteses para o problema. Foi fornecida uma semana para que os estudantes possam organizar as ideias e, posteriormente discutir em conjunto com a turma as possíveis soluções para o problema. O problema foi retomado ao final da unidade didática.

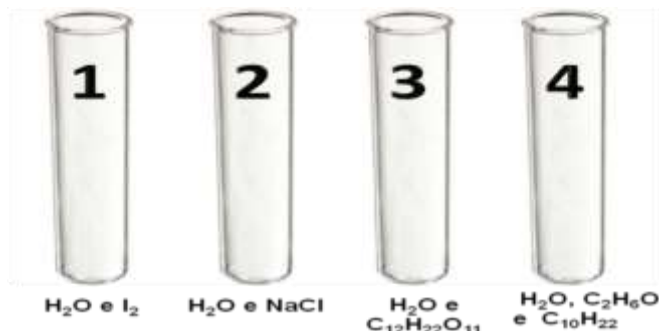
Na próxima aula, foi desenvolvida a atividade experimental: “Forças intermoleculares e a sua relação com a polaridade e solubilidade”. O objetivo deste experimento foi que os estudantes reforçassem a compreensão sobre a natureza eletrostática das forças intermoleculares, bem como que a solubilidade é um fenômeno regido por interações entre a molécula do soluto e as moléculas do Solvente. Na dissolução, as interações soluto-soluto e solvente-solvente são, pelo menos em parte, substituídas por interações soluto-solvente. Para que a dissolução seja energeticamente favorável, é necessário que essas novas interações sejam mais fortes e/ou mais numerosas do que as anteriores.

Como exemplo, é possível citar a dissolução do cloreto de sódio em água. O NaCl se dissolve rapidamente em água por que as interações atrativas entre os íons e as moléculas polares de H₂O superam a energia de rede do NaCl_(s). Por outro lado, existem muitos compostos moleculares, como o iodo, que não são muito solúveis na água. As forças intermoleculares entre as moléculas de iodo (apolar) são fracas e, desta forma, interações soluto-solvente (água-iodo) não são muito fortes, comparadas com as interações entre as moléculas polares da água (solvente-solvente). Sendo assim, a energia necessária para romper as interações solvente-solvente no processo de dissolução é muito maior que a energia liberada entre soluto-solvente. Neste caso, o aumento da desordem da mistura não é suficiente para vencer a variação de entalpia desfavorável, resultando uma solubilidade muito baixa.

Para viabilizar a compreensão dos conceitos citados, os estudantes foram organizados em grupos e desenvolveram quatro procedimentos que envolvem os conceitos sobre a natureza das interações, polaridade e solubilidade. O roteiro elaborado para auxiliar na execução dos experimentos, bem como uma planilha-investigação pode ser consultado no

apêndice G. Nesta atividade foram propostas quatro procedimentos em tubos de ensaio, conforme demonstrado na Figura 38.

Figura 38 – Ilustração do procedimento que será desenvolvido



Fonte: Autores.

Após a execução do experimento, os estudantes completaram a planilha-investigação, o que implicou descrever o fenômeno observando, por meio de registros escritos ou pictográficos. Além disso, formularam duas perguntas relacionadas ao experimento e propuseram hipóteses para explicar os fenômenos. Para auxiliar os estudantes nesta atividade, uma vez que ainda não estudaram formalmente os tópicos como polaridade e solubilidade, foram disponibilizados dois textos para cada grupo (Apêndice H e I) que sintetizam o assunto. Em seguida, depois de um tempo previamente definido, os grupos trocaram as perguntas formuladas, ou seja, os grupos responderam às perguntas que não foram a do próprio grupo. Para isso, os estudantes foram incentivados a pensar, pesquisar e formular respostas. Após as respostas foram compiladas no quadro e discutiu-se sobre os tópicos em questão. Além disso, as hipóteses foram compartilhadas e discutidas e, quando necessário, foram reformuladas.

Na outra aula, o problema inicial foi retomado. Essa atividade proporcionou que os estudantes percebessem a existência de interações entre as moléculas, não especificando ainda, em termos de forças intermoleculares, mas que conseguissem compreender que além das interações entre os átomos de hidrogênio e oxigênio na molécula de H_2O , conforme já estudado no tópico de ligações químicas, existem também interações entre as moléculas de H_2O no estado sólido, líquido e gasoso. Desta forma, além de diferenciar as interações intermoleculares e intramoleculares, introduziu-se o conceito de energia, relacionando-a com as interações. Os estudantes conseguiram compreender que quanto maior a energia recebida, mais intensa será a movimentação das moléculas. No estado sólido, por exemplo, as

interações entre as partículas devem ser mais fortes, fazendo-as ocupar posições fixas, apenas vibrando em torno dessas posições.

Após as discussões, os estudantes foram orientados a repensar sobre o modelo elaborado e reformulá-los, se necessário. Neste momento, eles apontaram as diferenças entre as interações entre as moléculas e as ligações químicas.

Com o objetivo de consolidar os conceitos estudados, ao final da aula, os estudantes receberam uma atividade de pesquisa, a qual pode ser consultada no Apêndice D. Essa atividade será o ponto de partida para a próxima aula.

Desta forma, a aula começou com a discussão a respeito da relação entre as propriedades das substâncias pesquisadas, suas ligações químicas e interações. Neste momento, foi exposto que o cloreto de sódio, cloreto de bário e óxido de cálcio são compostos iônicos, constituídos por íons de carga opostas. Já as ligações estabelecidas entre os átomos do etano, propano e butano são predominantemente covalentes.

A magnitude da temperatura de fusão e ebulição desses compostos deve ser entendida a partir das interações entre seus constituintes. Compostos iônicos são formados por cátions e ânions ordenados em uma estrutura cristalina que mantém um balanço entre as forças de atração e repulsão entre íons. A força desta interação é alta, de forma que estes compostos se apresentam preferencialmente em estado sólido. Na fusão, rompem-se a estrutura cristalina e têm-se íons com mobilidade no material líquido.

Nos compostos moleculares existem ligações covalentes que mantêm os átomos agrupados formando moléculas. Estas ligações são em geral muito fortes e requerem altas temperaturas para rompimento. Entretanto, as interações entre moléculas são de natureza eletrostática e de baixa intensidade (forças de van de Waals ou ligação hidrogênio), sendo rompidas em temperaturas muito menores. Na fusão de um composto molecular, são rompidas as forças de van de Waals que mantêm moléculas unidas, caracterizando a mudança de fase sólido/líquido. Para a quebra das ligações covalentes, a temperatura deve ser maior.

Após as discussões e a sistematização dos principais conceitos abordados, foram propostas atividades que estão relacionadas com a influência da natureza das forças intermoleculares nas propriedades das substâncias. Neste momento, foram abordados os conceitos relacionados à natureza dessas interações, tais como: dipolo elétrico permanente; dipolo elétrico induzido; átomos com diferença significativa de eletronegatividade, momento dipolar e a forma como estes átomos estão arranjados espacialmente. Ressalta-se que os fatores mencionados podem provocar algumas distorções nas distribuições da carga elétrica das moléculas, promovendo diferentes tipos de interações entre elas. Além disso, essas

interações são de natureza eletrostática, resultantes de atrações entre nuvens eletrônicas e os núcleos dos átomos.

Para isso, primeiramente, a turma foi separada em grupos. Cada grupo recebeu um texto base sobre os conceitos referentes à natureza das forças intermoleculares, conforme consta no Apêndice E. Em seguida, tiveram um tempo pré-determinado para discutir as ideias e elaborar uma síntese, a qual foi apresentada para toda a turma. Após a sistematização dos conceitos apresentados nos textos, foi solicitado que os estudantes desenvolvam uma atividade de pesquisa e modelagem, conforme descrito no Apêndice F. Para o desenvolvimento desta atividade foram disponibilizados os seguintes materiais: bolinhas de isopor, palitos de dente, massinha de modelar, lápis de cor, entre outros.

Com essa atividade, ainda não se esperava que os estudantes apresentassem concepções compatíveis com o modelo de forças intermoleculares. Neste momento, foram abordados conceitos que pudessem aguçar a percepção sobre a existência de alguma força de interação entre as moléculas. Em relação ao butano, por exemplo, sabe-se que ele apresenta o momento dipolar resultante igual à zero, ou seja, é uma molécula apolar. Todavia, em um determinado instante, devido ao movimento dos elétrons, a nuvem eletrônica pode concentrar-se em uma região da molécula, o que implicaria, neste instante de tempo, a formação de uma carga parcial negativa nessa região (maior concentração de elétrons) e a formação de uma carga parcial positiva na região com menor concentração de elétrons. Desta forma, mesmo sendo apolar, o butano pode, momentaneamente, permanecer polarizado e por indução elétrica provocar a polarização de uma molécula vizinha.

Essas cargas instantâneas estabelecem um dipolo temporário na molécula, chamado de dipolo instantâneo. O dipolo formado pode induzir outro dipolo em uma molécula adjacente. Esses dipolos temporários orientados na mesma direção resultam em forças atrativas entre as moléculas. Além disso, neste momento, também foi abordado a formação do dipolo permanente, ou seja, a natureza das interações entre as moléculas polares. Por fim, foi aplicado o questionário final (Apêndice J).

3.3.2 Unidade didática 2: Dipolo-dipolo e Forças de London

Esta unidade didática teve duração de três aulas, totalizando seis horas/aula. O Quadro 8 apresenta de maneira sucinta a descrição das atividades, o problema inicial, bem como os objetivos gerais e específicos.

Quadro 8 – Descrição da unidade didática 2

Unidade didática 2 – Dipolo-Dipolo e Forças de London				
<p>Problema: A vida na Terra existe, pelo menos em parte, devido às forças intermoleculares. As propriedades físicas da água, que compõem dois terços da massa do corpo humano, são em grande parte devido à sua extensa rede de interações. As forças intermoleculares são à base do código genético e as estruturas e formas originais dos componentes não aquosos da vida: DNA, RNA, proteínas e outras biomoléculas. Como já sabemos, as forças intermoleculares são aquelas responsáveis por manterem moléculas unidas na formação dos diferentes compostos, estas forças influem sobre o estado físico e a temperatura das substâncias. Quando examinamos os átomos da tabela periódica, diferenças interessantes são constatadas, o que implica distinção entre algumas propriedades. É possível citar, por exemplo, os pontos de fusão e ebulição para a molécula de HCl, formada a partir de H e Cl, sendo -114°C e -85°C, respectivamente. Enquanto que estes valores para a molécula de NO, são -163°C e -151°C. Como as atrações entre estas moléculas, que são gases a temperatura ambiente, permitem que sejam líquidos ou sólidos em temperaturas mais baixas? De forma semelhante, os pontos de fusão e ebulição para F_2, Cl_2, Br_2 e I_2, conforme a tabela abaixo apresenta características distintas? F_2 e Cl_2 são gasosos, Br_2 é líquido e I_2 é sólido à temperatura ambiente. Como essas diferenças podem ser explicadas? Quais são os efeitos das diferenças de eletronegatividade, número de elétrons e tamanho nos pontos de fusão e ebulição?</p>				
Substância	F_2	Cl_2	Br_2	I_2
Ponto de Fusão	-220°C	-101°C	-7°C	114°C
Ponto de Ebulição	-188°C	-29°C	59°C	184°C
Objetivos gerais	Objetivos específicos		Atividades desenvolvidas	
<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a natureza eletrostática da interação dipolo-dipolo, em virtude da distribuição de cargas elétricas e formação de dipolos elétricos. - Compreender a natureza das forças de London pela polarizabilidade, bem como a magnitude destas interações na racionalização de propriedades macroscópicas observáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recordar os conceitos de polaridade e eletronegatividade; - Identificar as interações dipolo-dipolo e forças de London; - Interpretar os fenômenos estudados com base nas definições das interações estudadas. - Analisar os problemas, bem como as atividades experimentais propostos à luz dos conceitos científicos abordados; - Propor soluções para o problema com base nas interações intermoleculares; 		<ul style="list-style-type: none"> - Identificação das concepções prévias dos estudantes, por meio da aplicação de questionários e situações problema; - Resolução de problemas; - Atividades de pesquisa; - Atividades experimentais - Discussão e debate sobre o problema inicial e as atividades desenvolvidas; - Exercícios investigativos complementares. 	

Fonte: Autores.

Inicialmente foi aplicado um questionário diagnóstico inicial (Apêndice K) com objetivo de detectar as concepções prévias dos estudantes referentes à identificação das interações dipolo-dipolo e London, bem como suas representações pictográficas, influência e magnitude dessas interações nas propriedades físicas das substâncias. Em seguida, foi apresentado o problema inicial (Quadro 8) para a turma. Neste momento, disponibilizou-se a sala de informática, artigos científicos e livros didáticos para que os estudantes pudessem investigar e propor hipóteses para o problema. Para isso, foi utilizada a sequência dos sete passos metodológicos propostos para a discussão e resolução de problemas, conforme organizados por Schmidt (1983):

1 – Leitura do Problema, identificação e esclarecimento dos termos desconhecidos;

2 – Identificação dos problemas propostos pelo enunciado;

3 – Formulações de hipóteses explicativas para os problemas identificados no passo anterior (nesta etapa, os alunos utilizam seus conhecimentos prévios, aqueles que dispõem para a abordagem do problema);

4 – Resumo das hipóteses;

5 - Formulações dos objetos de aprendizagem (de forma coletiva os alunos identificam e listam os assuntos que devem ser estudados para aprofundar os conhecimentos incompletos formulados nas hipóteses explicadas e que podem auxiliar na resolução do problema);

6 – Estudo e pesquisa dos assuntos levantados nos objetivos de aprendizagem;

7 – Rediscussões do problema e compartilhamento no grupo de novos conhecimentos adquiridos na fase de estudo anterior (nesta fase o grupo deve então apresentar uma síntese da sua discussão, elaborar e propor a resolução do problema).

Após a leitura do problema, os estudantes receberam uma tabela que serviu como guia de trabalho. Esta tabela contempla os sete passos metodológicos, conforme especificado no Quadro 9.

Quadro 9 – Tabela de resultados da pesquisa

Termos desconhecidos	Qual o problema?	Hipóteses iniciais (grupo)	Hipóteses da turma (geral)	Objetos de aprendizagem	Novas hipóteses	Possíveis soluções

Fonte: Autores.

A turma foi dividida em grupos e escolheu um líder para ser o organizador dos debates. No primeiro passo, foram explicados, pelo professor, os termos que podem causar dúvidas aos estudantes. Se algum dos termos for importante para a construção do conhecimento, poderá de definido como objeto de aprendizagem.

No segundo passo, os estudantes definiram o problema a ser investigado. Para isso, formularam uma frase que descreveu sucintamente a investigação que se propuseram desenvolver. Em seguida, foram orientados a formularem hipóteses sobre o problema em questão, não importando se os termos estejam corretos ou inadequados.

No quarto passo, cada líder, em seus respectivos grupos, fizeram um resumo sobre todas as hipóteses e teorias discriminadas referentes ao problema. O objetivo desse passo foi promover discussões sobre conceitos relacionados à polaridade, eletronegatividade, raio

atômico, diferenças nos pontos de fusão e de ebulição para moléculas polares e não-polares, massa molecular e propriedades físicas.

Em seguida, foram definidos os objetos de aprendizagem, ou seja, os estudantes elencaram os assuntos que deveriam ser estudados para aprofundar os conhecimentos incompletos formulados nas hipóteses e que pudessem auxiliar na resolução do problema. É importante ressaltar que se os objetos de aprendizagem formulados pelos alunos que não coincidirem ou não forem similares aos objetos de aprendizado ponderados pelo professor ou pelo currículo, havendo, desta forma, discrepância entre esses objetos, o problema em questão foi considerado ruim, reformulado ou descartado.

No passo 6, os estudantes buscaram o conhecimento por meio de livros, internet, laboratórios, orientações docentes, vídeos e artigos científicos. Por fim, no passo 7, após uma semana de pesquisas, os estudantes, sob direção do líder, compartilharam suas informações, conhecimentos adquiridos e as hipóteses elaboradas. Neste momento, foram sistematizados os seguintes conhecimentos: formação das forças dipolo-dipolo, diferenças de eletronegatividade, formação de dipolo elétrico, forças de dispersão London, como forças intermoleculares fracas que surgem de forças atrativas dipolos-instantâneos em moléculas fracamente polares, efeitos do tamanho molecular e da massa nos processos de transformação da matéria, comparação das forças dipolo-dipolo e das forças de dispersão, por meio das diferenças nos pontos de fusão e ebulição.

Este tipo de abordagem vem sendo amplamente defendido pela comunidade de educadores químicos. Moraes e Galiazzi (2006) enfatiza a pesquisa como princípio didático, ou seja, a pesquisa como instrumento metodológico para a construção do conhecimento. Para a autora, pesquisar passa a ser princípio metodológico diário de aula. O trabalho gira permanentemente em torno do questionamento de conhecimentos já existentes, que vai além do conhecimento de senso comum, mas o engloba e enriquece com outros tipos de conhecimento dos alunos e da construção de novos argumentos que serão validados em discussões críticas.

A terceira aula teve início com uma atividade experimental investigativa. Essa aula teve como principal objetivo contribuir para que estudantes identificassem e representassem submicroscopicamente as interações dipolo-dipolo e forças de London.

Segundo Silva et. al. (2008), uma experimentação investigativa busca a solução de uma questão que será respondida pela realização de uma ou mais experiências, que podem envolver as seguintes etapas:

1. Propondo um problema – formulação de uma questão/problema que estimule a curiosidade dos estudantes
2. Identificando e explorando as ideias dos estudantes – Solicitar aos alunos que levantem hipóteses para solucionar o problema. Neste momento, o professor deve analisar e discutir as hipóteses.
3. Elaborando os possíveis planos de ação – Após a discussão sobre as ideias levantadas pelos estudantes, o professor deve solicitar-lhe um plano de ações, visando à montagem do experimento, que permitirão testar as hipóteses selecionadas.
4. Experimentando o que foi planejado – Esta etapa merece especial atenção por parte do professor, pois não se restringe à capacidade de selecionar e manusear vidrarias, aparelhos e reagentes. É preciso ficar atento as orientações de roteiros disponíveis em livros ou na internet. Além disso, deve-se ressaltar que experimentos que não confirmem uma dada hipótese, necessariamente não estão errados, visto que diferentes testes fazem parte do processo de construção da ciência.
5. Analisando os dados que foram anotados – Essa é a parte fundamental do trabalho, uma vez que os resultados obtidos deverão ser expressos utilizando a linguagem científica. Desta forma, é a parte mais difícil para os estudantes, havendo a necessidade de interferência do professor para que se estabeleça a relação teoria-experimento.
6. Respondendo ao problema inicial - Deve-se propor que os estudantes respondam ao problema inicial, analisando a validade ou não das hipóteses levantadas, dos métodos utilizados e das implicações decorrentes.

Para o desenvolvimento dessa atividade, os estudantes receberam uma planilha de investigação (Apêndice L), a qual contempla as etapas sugeridas por Silva et.al. (2008). Posteriormente, foi aplicado o questionário final, que pode ser consultado no Apêndice M.

3.3.3 Unidade didática 3: Ligação Hidrogênio

Para o desenvolvimento desta unidade didática foram necessárias três aulas, com duração de duas horas cada, totalizando 6 horas/aula. É importante ressaltar que para a construção do conhecimento referente à ligação hidrogênio, os estudantes devem compreender que esta interação é um tipo diferente da interação dipolo-dipolo convencional.

Desta forma, um átomo aceptor (A), que possua um par de elétrons não ligante, pode, favoravelmente, interagir com um átomo doador (D) que carrega um hidrogênio (ROCHA, 2001). Isso implica afirmar que uma ligação hidrogênio requer que A e D sejam átomos com alta eletronegatividade, como por exemplo, os átomos de Nitrogênio, Oxigênio e Flúor. Como o átomo de hidrogênio não possui elétrons de cerne, o lado positivo do dipolo da ligação possui a carga concentrada parcialmente exposta. Essa carga é atraída pela carga negativa de um átomo eletronegativo em uma molécula próxima e, desta forma, o hidrogênio (pobre em elétrons e muito pequeno) pode facilmente aproximar-se de um átomo eletronegativo para, em seguida, interagir fortemente com ele.

Neste contexto, para a compreensão dos conceitos supracitados atrelados aos fenômenos presentes no dia a dia, foi elaborada a unidade didática 3 “ligação hidrogênio”. O Quadro 10 apresenta uma descrição sucinta das atividades que foram desenvolvidas, os objetivos, bem como o problema inicial que norteará a construção do conhecimento deste tópico.

Quadro 10 – Descrição da unidade didática 3

Unidade didática 3 – Ligação Hidrogênio		
Problema inicial: As interações intermoleculares estão intimamente relacionadas com os fenômenos presentes no nosso dia a dia, como exemplo, é possível citar: a sensação do sabor, acidez dos compostos, chuva ácida, capilaridade, DNA, mutação genética, ação de anticoagulantes no corpo humano, encontro da água do rio Solimões, tensão superficial, processo de colagem, silicose, impossibilidade de substituir detergentes por água na remoção de graxas e gorduras, bioluminescência, densidade, transformações físicas, entre outros. Desta forma, todos estes fenômenos são muito comuns em nosso cotidiano, e nem percebemos a razão de sua ocorrência. Inicialmente, nos referimos a eventos completamente diferentes, no entanto, os fenômenos pelos quais as mesmas passam, possuem algo em comum. Mas o que tudo isso que foi exposto têm em comum? Como você poderia explicar esses fenômenos?		
Objetivos gerais	Objetivos específicos	Atividades desenvolvidas
<ul style="list-style-type: none"> - Construir o conhecimento referente à ligação hidrogênio; - Compreender a natureza eletrostática da ligação hidrogênio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretar os fenômenos macroscópicos relacionados à ligação hidrogênio, por meio de explicações submicroscópicas. - entender o comportamento de sistemas químicos a nível molecular. - comparar e prever o comportamento das substâncias (Pontos de fusão e ebulição), por meio da compreensão da magnitude das forças intermoleculares; - Analisar e propor soluções para os problemas à luz dos conceitos científicos abordados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação das concepções prévias dos estudantes, por meio da aplicação de questionários e situações problema; - Resolução de problemas; - Atividades de pesquisa; - Atividades de modelagem; - Discussão e debate sobre o problema inicial e as atividades desenvolvidas; - Aplicação de um questionário diagnóstico final.

Fonte: Autores.

Na primeira aula, inicialmente foi aplicado um questionário diagnóstico inicial (Apêndice M), o qual indagou os estudantes sobre a natureza da ligação hidrogênio, magnitude dessa interação comparada a outros tipos de forças intermoleculares, identificação das ligações hidrogênio, solubilidade, pontos de fusão e ebulição e ocorrência dessas interações em fenômenos do dia a dia.

Posteriormente, foi apresentado o problema inicial (Quadro 10) para os estudantes. Neste momento, a turma foi dividida em grupos e foi solicitado que propusessem hipóteses para os problemas em questão. Em seguida, após discussões e proposições, cada grupo escolheu um fenômeno (presente no problema inicial) para aprofundamento. Para isso, foram fornecidos textos científicos (Apêndices N, O, P, Q, R, S e T), livros didáticos e a atividade foi desenvolvida no laboratório de informática. Além disso, com o intuito de orientar a investigação, foi fornecido um guia, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Guia de orientação para o desenvolvimento da investigação

Direcionamento	Resolução
Qual o fenômeno investigado?	
Quais conceitos químicos, que você consegue identificar, estão relacionados ao fenômeno estudado?	
Elabore um esquema que represente em nível macroscópico o fenômeno em estudo.	
Em nível atômico molecular, como você descreveria o fenômeno investigado? Proponha um modelo que explique esse fenômeno.	

Fonte: Autores.

Os estudantes tiveram uma semana para preparar as proposições e explicações para os fenômenos em estudo. Na aula seguinte, cada grupo apresentou suas conclusões, das quais foram analisadas e discutidas em coletivo. Pretendeu-se com essa atividade, que os estudantes compreendessem o comportamento da ligação hidrogênio a nível atômico-molecular, partindo-se, primeiramente, de observações no nível macroscópico (fenômenos do dia a dia) para chegar ao nível submicroscópico, que exige uma maior abstração. Isso implica afirmar que foi necessário explicar a natureza dessa interação baseados nos conceitos de átomos,

moléculas, íon e outras partículas subatômicas para racionalizar e prever o comportamento dos fenômenos.

Segundo Johnstone (1982), uma das dificuldades da aprendizagem em Química está relacionada ao fato de que, o processo de ensino e aprendizagem, ocorre majoritariamente apenas em níveis macroscópico e simbólico, desvalorizando aspectos mais estruturais, correspondente ao nível submicroscópico. O referido autor enfatiza que para a completa aprendizagem dos conceitos químicos, é necessário que o professor forneça subsídios que contribuam para que os estudantes consigam transitar entre os três níveis de representação da matéria (macro, submicro e simbólico).

Uma vez desenvolvidos os tópicos relacionados à natureza da ligação hidrogênio, ou seja, que a formação dessa ligação é resultado da interação eletrostática (força de Coulomb) entre o par não ligante de átomo eletronegativo e o núcleo do átomo de hidrogênio, parcialmente desprotegido, em virtude da ligação covalente polar com o outro átomo também muito eletronegativo: $\delta^- X - H^{\delta+} \dots Y^{\delta-}$, em seguida, foram desenvolvidas atividades, cujo objetivo se concentram em analisar a influência da ligação de hidrogênio nas propriedades físicas das substâncias, como os pontos de fusão e ebulição.

A próxima aula começou com a atividade de modelagem “investigando o comportamento anômalo da água”, em que o objetivo foi contribuir para que os estudantes compreendessem a magnitude da ligação de hidrogênio comparada com outros tipos de interações, por meio da análise de gráficos da temperatura de ebulição de substâncias formadas por hidrogênio e elementos do grupo do carbono e por hidrogênio e elementos do grupo do oxigênio. Para isso, foi disponibilizado um roteiro investigativo (Apêndice U), bem como massa de modelar, palitos, folhas A4, lápis de cor e giz de cera para que os estudantes possam elaborar e representar os modelos. Após a construção dos modelos, foi solicitado aos grupos que explicassem para a turma o modelo elaborado. Desta forma, pretendeu-se retomar os conceitos referentes às diferenças entre as ligações intramoleculares e intermoleculares, variação da temperatura de ebulição em função da variação da massa molar, tipos de interação e magnitude das forças intermoleculares.

Em seguida, com o intuito de validar os modelos construídos pelos estudantes, foram fornecidos outros dados empíricos, como o tamanho do átomo, elétrons da camada de valência e as temperaturas de ebulição de compostos de hidrogênio com elementos dos grupos 15 (do nitrogênio) e 17 (dos halogênios) da tabela periódica. Os estudantes tiveram a tarefa de explicar se o modelo da ligação hidrogênio, elaborado previamente, o qual explica o comportamento da água em relação à temperatura de ebulição, também seria útil para explicar

as temperaturas de ebulição do HF e do NH₃. Além disso, representaram por meio de representações pictográficas como as moléculas de HF e de NH₃ se manteriam unidas segundo esse modelo (Apêndice V).

É importante ressaltar que todas as representações apresentadas pelos estudantes foram discutidas em conjunto, com o objetivo de modificar ou sanar ideias alternativas, que porventura, tenham sido construídas pelos estudantes.

Após a apresentação ou reformulação dos modelos, com intuito de fornecer subsídios para que os estudantes avancem na construção de seus conhecimentos, foi desenvolvida uma atividade de síntese dos conceitos abordados, cujo objetivo foi ampliar e aplicar os conhecimentos construídos. Desta forma, cada grupo teve que discutir sobre as interações entre as moléculas de uma das substâncias apresentadas no Quadro 12, com base nos conceitos estudados. Foi solicitado que cada grupo representasse, a sua respectiva estrutura e, ao final, foi elaborado em conjunto um painel com as representações de todos os grupos.

Quadro 12 – Lista de moléculas para análise

Substância	Representação pictográfica	Massa molar	TE °C	Interação
Água				
Amônia				
Metanol				
I ₂				
HCl				
Propano				
Etanol				

Fonte: Autores.

Na última aula, sistematizou-se todos os conceitos abordados durante a unidade didática 3. Para finalizar as atividades dessa unidade, foi aplicado um questionário final (Apêndice W) que abordou os seguintes aspectos: conceitos relacionados natureza da ligação hidrogênio, influência da ligação hidrogênio nas propriedades físicas das substâncias, identificação da ligação hidrogênio em fenômenos do dia a dia e representação submicroscópica dessas interações.

Por fim, para finalizar a Sequência Didática, foi aplicado um questionário diagnóstico final, conforme pode ser consultado no Apêndice X. Este questionário, bem como os demais, serviu de suporte para avaliar a construção do conhecimento referente ao tópico de forças intermoleculares.

3.3.4 Validação da SD

Para validação metodológica da sequência didática foi utilizado os pressupostos teóricos da Engenharia Didática proposta por Artigue (1996). Este tipo de validação se fundamenta na confrontação entre a validação *a priori* (análises teóricas) e a validação *a posteriori* (análises dos resultados após a aplicação). Segundo Guimarães e Giordan (2011), este tipo de método procura confirmar se os instrumentos de coletas de dados possuem o desempenho que sua aplicação requer, bem como visa garantir a confiabilidade de seus resultados.

O Quadro 13 apresenta uma síntese das etapas propostas pela Engenharia Didática para a validação de sequências didáticas.

Quadro 13 – Etapas da validação baseadas na Engenharia Didática

Etapas	Descrição
Análise prévia	Elaboração da Sequência didática
Validação <i>a priori</i>	Analisar diferentes dimensões relacionadas com as questões teórico-metodológicas que envolvem a elaboração de uma sequência didática.
Experimentação	Consiste na aplicação da SD para uma turma “teste” ou para pesquisadores e professores da área.
Validação <i>a posteriori</i>	Análise dos resultados obtidos na experimentação e a confrontação com a validação <i>a priori</i> .

Fonte: Autores.

Desta forma, a validação *a priori*, experimentação e a validação *a posteriori*, foram desenvolvidas pelo grupo de pesquisa LAEQUI (Laboratório de Ensino de Química) da Universidade Federal de Santa Maria. Este grupo vem desenvolvendo muitas pesquisas na área do ensino de Química, principalmente, no estudo de metodologias que visam contribuir para o processo de ensino e aprendizagem. O LAEQUI conta com a participação de professores de Química do ensino médio e superior, mestres e doutorandos.

O Quadro 14 apresenta uma síntese da proposta de validação da SD “Forças intermoleculares” pelo grupo de pesquisa supracitado.

Quadro 14 – Proposta de Validação da SD “Forças intermoleculares”

Etapas	Descrição
Validação <i>a priori</i>	Análise da SD, por meio da aplicação de um instrumento para avaliar as questões teórico-metodológicas dessa SD.
Experimentação	Aplicação da SD ao grupo LAEQUI.
Validação <i>a posteriori</i>	Confrontação das análises desenvolvidas na validação <i>a priori</i> com as observações realizadas na experimentação.

Fonte: Autores.

Na validação *a priori*, primeiramente, foi entregue a SD aos pesquisadores, contendo a descrição completa de todas as unidades didáticas, para que o grupo pudesse ler e fazer as suas considerações iniciais. Em seguida, foi solicitado que analisassem criteriosamente essa SD, por meio de um instrumento avaliativo.

Esse instrumento avaliativo foi elaborado com base nas ideias de Guimarães e Giordan (2011) e tem por objetivo garantir que as intenções de ensino propostas contribuam para a construção do conhecimento do tópico de forças intermoleculares. Ele é composto por 15 afirmativas que englobam a seguintes dimensões de análise: “Estrutura e organização (EO)”, “problematização (P)” “Conteúdo e conceitos (CC)” e “metodologia de ensino e instrumentos avaliativos (MEA)”. Para cada uma das afirmativas serão atribuídos conceitos que sugerem a avaliação da SD, conforme apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 – Conceitos para a avaliação da SD

Conceitos	Descrição
Insuficiente (I)	Este item deve ser assinalado quando não houver nenhuma relação da SD com as questões teórico-metodológicas associadas ao item.
Necessárias Modificações (NM)	Deve ser apontado quando houver pouca relação da SD, com intuito de propor modificações.
Suficiente (S)	Deve ser assinalado quando os critérios forem atendidos.
Mais que suficiente (MS)	Este item deve ser escolhido quando houver elevada relação entre o item avaliativo e a proposta apresentada na SD.

Fonte: Autores.

Além dos parâmetros supracitados, para cada afirmativa terá um espaço para a anotação de observações que sejam pertinentes para a avaliação da SD. Desta forma, a análise da SD foi desenvolvida de forma independente pelos pesquisadores, já mencionados,

conforme os critérios estabelecidos. O instrumento avaliativo pode ser consultado no Quadro 16.

Quadro 16 – Instrumento avaliativo de validação da SD

Dimensões da Análise	Afirmativas	Conceitos			
EO	A SD possui uma redação clara e direta, contendo todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento.	I	NM	S	MS
EO	O tempo designado é adequado para executar as atividades.	I	NM	S	MS
EO	A bibliografia é suficiente para o desenvolvimento dos conteúdos propostos.	I	NM	S	MS
P	A formulação do problema foi construída segundo a temática proposta.	I	NM	S	MS
P	A problemática não se restringe apenas a uma apresentação inicial de questionamentos a serem elucidados mediante a conceituação apresentada nas aulas.	I	NM	S	MS
P	Os conceitos apresentados na SD são capazes de responder o problema inicial.	I	NM	S	MS
P	Os problemas propostos promovem a busca coletiva das possíveis resoluções, bem como motiva a construção de significados científicos.	I	NM	S	MS
CC	Objetivos são claramente informados e se vinculam com a problemática e os conceitos apresentados, bem como estão efetivamente direcionados a aprendizagem dos conteúdos e conceitos propostos.	I	NM	S	MS
CC	As atividades e conteúdos propostos são necessários e suficientes para que se alcancem os objetivos elencados, ou seja, o que se faz está em acordo com o que se pretende	I	NM	S	MS
CC	A quantidade de conteúdos a serem desenvolvidos é condizente com o número de aulas.	I	NM	S	MS
CC	Os conceitos desenvolvidos pela SD fornecem elementos para discussão do fenômeno proposto segundo tema de ensino.	I	NM	S	MS
MEA	As estratégias didáticas são diversificadas e apropriadas para o desenvolvimento da problemática proposta.	I	NM	S	MS
MEA	Os instrumentos de avaliação propostos são adequados e suficientes às metodologias apresentadas.	I	NM	S	MS

Fonte: Adaptado (GUIMARÃES e GIORDAN, 2011).

Na etapa da experimentação, a SD foi aplicada a outros pesquisadores que não fizeram parte da validação *a priori*. Desta forma, além de participar da aplicação, também foi solicitado que preenchessem o instrumento avaliativo. Pretendeu-se com isso, confrontar as análises *a priori* e experimental, com o objetivo de discutir os possíveis equívocos da SD elaborada. A partir dos resultados destas discussões, a SD foi reformulada e, posteriormente, validada, contemplando a validação *a posteriori*.

3.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.4.1 Coleta de dados

Os dados foram obtidos por meio de instrumentos descritivos e pictográficos, tais como: questionários, exercícios, atividades investigativas, modelos e produções textuais. Essa variedade de instrumentos gerou uma quantidade significativa de informações e, desta forma, considero-se viável e suficiente focalizar em 13 atividades (Quadro 27) respondidas individualmente pelos estudantes.

As atividades mencionadas foram aplicadas antes, durante e após o desenvolvimento do conteúdo de forças intermoleculares em sala de aula, correspondendo ao período de agosto a outubro de 2017. No Quadro 17 está caracterizado cada instrumento utilizado na pesquisa para a coleta de dados.

Quadro 17 – Caracterização dos instrumentos de coleta de dados.

(continua)

Instrumento	Descrição/características	Localização	Aplicação
I	Questionário diagnóstico inicial sobre informações escolares e concepções sobre as forças intermoleculares.	Apêndice B	Antes do desenvolvimento do conteúdo de forças intermoleculares
II	Atividade experimental sobre a solubilidade e as forças intermoleculares.	Apêndice G	Durante o desenvolvimento do tópico sobre a natureza das forças intermoleculares.
III	Atividade sobre as propriedades físicas das substâncias.	Apêndice D	Durante o desenvolvimento do tópico sobre a natureza das forças intermoleculares.
IV	Atividade de Modelagem sobre a natureza das forças intermoleculares.	Apêndice F	Durante o desenvolvimento do tópico
V	Questionário final sobre a natureza das forças intermoleculares.	Apêndice J	Após o desenvolvimento do conteúdo
VI	Questionário inicial sobre as interações dipolo-dipolo e forças de London.	Apêndice K	Antes do desenvolvimento das interações dipolo-dipolo e forças de London.

Quadro 17 – Caracterização dos instrumentos de coleta de dados

(conclusão)			
Instrumento	Descrição/características	Localização	Aplicação
VII	Atividade de modelagem sobre as interações dipolo-dipolo e forças de London.	Apêndice L	Durante o desenvolvimento do tópico sobre as interações dipolo-dipolo e forças de London
VIII	Questionário Final sobre as interações dipolo-dipolo e forças de London.	Apêndice K	Após o desenvolvimento das interações dipolo-dipolo e forças de London
IX	Questionário inicial sobre a ligação hidrogênio.	Apêndice M	Antes do desenvolvimento do tópico referente à ligação hidrogênio.
X	Atividade sobre as interações ligação hidrogênio.	Apêndice U	Durante o desenvolvimento do tópico sobre ligação hidrogênio.
XI	Questionário final sobre a ligação hidrogênio.	Apêndice W	Após o desenvolvimento do tópico referente à ligação hidrogênio.
XII	Questionário diagnóstico final sobre as forças intermoleculares.	Apêndice X	Após desenvolvimento do conteúdo de forças intermoleculares

Fonte: Autores.

Os sujeitos desta pesquisa responderam as atividades e aos questionários em momentos distintos. O questionário I (diagnóstico inicial) foi aplicado antes do início do desenvolvimento do conteúdo de forças intermoleculares. Os questionários I, VI e IX foram aplicados antes da abordagem dos tópicos referentes à natureza das interações, dipolo-dipolo, forças de London e ligação hidrogênio, respectivamente. Já os instrumentos V, VIII e XI foram aplicados após o desenvolvimento dos conteúdos supracitados. Em relação às atividades III, IV, V, VIII e XI foram aplicadas durante a abordagem dos tópicos relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares. Por fim, o instrumento XII (diagnóstico final) foi aplicado ao término do desenvolvimento da pesquisa.

3.4.2 Sujeitos da pesquisa

Participaram da presente pesquisa 52 estudantes de duas turmas da 1ª série do ensino médio, sendo 26 do curso Técnico em Química e 26 do curso de Automação Industrial, ambos integrados ao ensino médio.

Ressalta-se que alguns estudantes não participaram de todas as intervenções referentes à abordagem do conteúdo de forças intermoleculares e, desta forma, estabeleceram-se dois critérios de exclusão:

1º) Não responder a dois ou mais instrumentos

Não foram considerados para análise os estudantes que não responderam dois ou mais instrumentos de coletas. Acredita-se que o estudante que não compareceu a no mínimo duas aulas destinadas ao conteúdo de forças intermoleculares, poderia neste caso, interferir nos resultados da pesquisa.

2º) Não responder aos instrumentos I, II, VI, VII, IX, X, XII e XIII

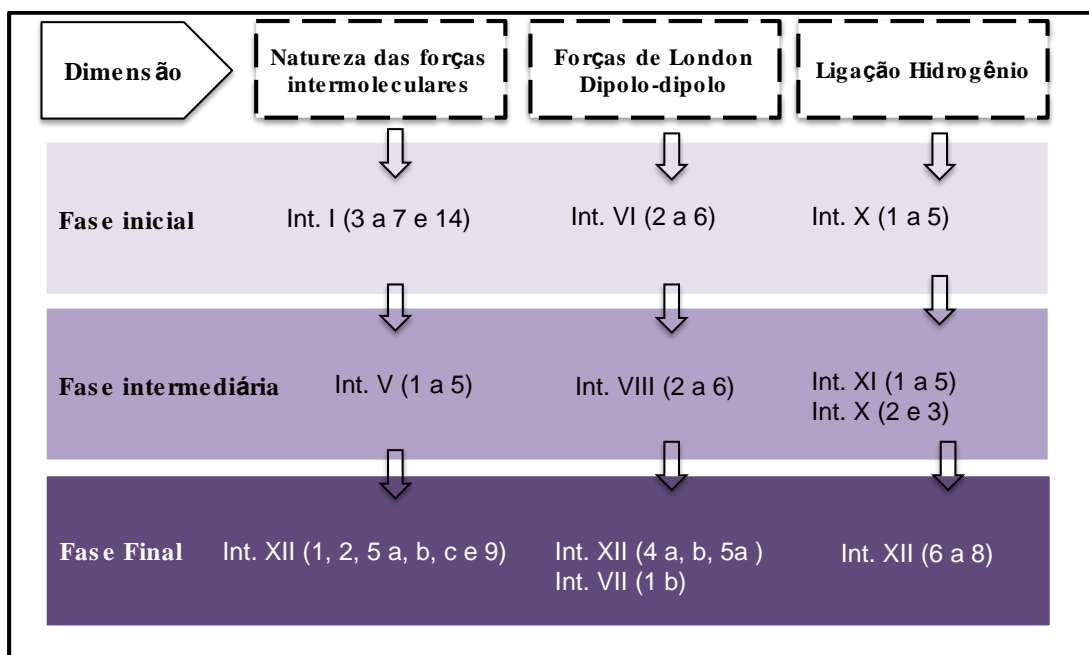
Os instrumentos supracitados correspondem a três momentos importantes da pesquisa. O estudante que não respondeu a um desses foi excluído, uma vez que esses instrumentos são extremamente necessários para avaliar a transição progressiva dos modelos explicativos desses sujeitos. Desta forma, esses critérios restringiram o número de participantes. Dos 52 estudantes iniciais, foram considerados 29 sujeitos para a análise dos dados.

3.4.3 Método de análise dos dados

Os dados coletados foram analisados com o intuito de investigar se os modelos explicativos dos estudantes do ensino médio participantes desta pesquisa formam sequências de transição progressiva (NIAZ, 2001), similares ao que Lakatos, no que se refere ao progresso da ciência, faz referência à “problemática” que aumenta o poder explanatório/heurístico de um determinado modelo ou teoria.

A coleta e análise dos dados ocorreram antes, durante e após a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares na turma pesquisada. Para a análise das sequências de transição progressiva, considerou-se que o conteúdo de forças intermoleculares envolve um conjunto de conceitos e, portanto, optou-se por avaliá-lo por meio de três dimensões: natureza das forças intermoleculares, forças de London e dipolo-dipolo e ligação hidrogênio. A Figura 39 representa as questões analisadas, a partir dos instrumentos descritos no Quadro 17, em cada dimensão e fases da pesquisa (inicial, intermediária e final).

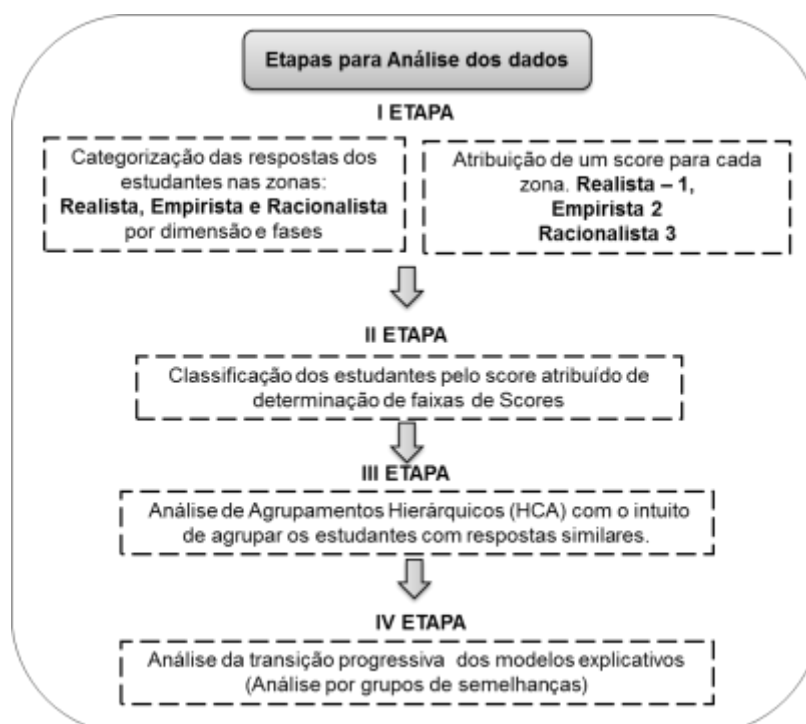
Figura 39 – Questões analisadas em cada dimensão e fase da pesquisa



Fonte: Autores.

Neste contexto, a análise dos dados para avaliar a evolução conceitual por parte dos sujeitos investigados, foi dividida em quatro etapas, conforme representado na Figura 40.

Figura 40 – Etapas para análise dos resultados



Fonte: Autores.

Na I etapa, em cada dimensão as respostas dos estudantes foram lidas, transcritas em planilhas do Microsoft Office Excel® e agrupadas nas categorias sugeridas por Pazinato (2016) nas três fases da pesquisa, conforme descrito no Quadro 18.

Quadro 18 – Descrição das Zonas Filosóficas

Zona filosófica	Descrição
Realista	Apresentam noções não científicas. Representam ideias associadas ao senso comum, caracterizadas por formas ingênuas, subjetivas e intuitivas de enunciar determinado conceito.
Empirista	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	Apresentam 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.

Fonte: (PAZINATO, 2016, p. 201).

Pazinato (2016) investigou a construção do conhecimento por parte de estudantes do nível médio, referente ao conteúdo de ligações químicas. Para analisar essa evolução, o autor elaborou categorias a partir das ideias dos estudantes em três momentos distintos, na fase inicial, intermediária e final de uma sequência de atividades, com o objetivo de traçar o perfil epistemológico para cada sujeito.

Desta forma, segundo o autor, as categorias emergidas representaram os diversos modos de pensar dos sujeitos pesquisados, as quais foram classificadas e agrupadas em zonas filosóficas, baseadas na teoria de Bachelard, que podem ser realista, empirista ou racionalista, conforme apresentado na Quadro 18.

Ressalta-se que existe distinções entre as visões sobre a construção do conhecimento científico entre as teorias de Bachelard e Lakatos. Bachelard preocupou-se muito mais em descontinuidades e rupturas do que propriamente com a evolução. Diante disso, as zonas filosóficas foram utilizadas nesta pesquisa somente com o intuito de classificar e analisar as concepções/ideias dos estudantes investigados, não havendo relação com a teoria de Bachelard.

Após a classificação das respostas, com intuito de facilitar a análise dos agrupamentos por similaridades, atribuiu-se um score para cada resposta de acordo com a zona filosófica, conforme especificado na Tabela 6.

Tabela 6 – Score atribuído por zona filosófica

Zona filosófica	Score
Realista	1
Empirista	2
Racionalista	3

Fonte: Autores.

Desta forma, foi atribuído, por exemplo, o *score* 1 para estudantes que apresentasse em suas ideias concepções realistas sobre o assunto abordado, *score* 2 para ideias empiristas e *score* 3 para concepções racionalistas. Os resultados para essa etapa encontram-se tabelados no Apêndice Y.

Na segunda etapa, com o objetivo de utilizar os métodos estatísticos multivariados para reconhecimento de padrões naturais, calculou-se a média das respostas de cada estudante por fase e dimensão. Para isso, para cada estudante, dimensão e fase, aplicou-se a equação, representada na Figura 41.

Figura 41 – Equação para padronização dos resultados

$$S_f = \frac{\sum Q}{nQ}$$

S_f – Score final
 $\sum Q$ Somatório das questões

Fonte: Autores.

Esses resultados representam o modo de pensar do sujeito. Desta forma, a possibilidade de nivelar os modelos explicativos dos estudantes proporcionou uma avaliação a respeito do nível de conhecimento do sujeito nas três fases da pesquisa. Isso deu suporte para acompanhar a evolução conceitual dos conteúdos abordados. Os resultados desta etapa encontram-se sistematizados no Apêndice Z.

Determinou-se as faixas de *Scores* para cada zona filosófica, com o intuito de se obter uma visão geral da origem do conhecimento do estudante em determinado momento da pesquisa, conforme a Figura 42. Isso se justifica pela pluralidade de pensamento dos estudantes, os quais, muitas vezes, em uma mesma dimensão apresentaram respostas que foram classificadas em duas ou três zonas filosóficas.

Figura 42 – Faixa de Scores



Fonte: Autores.

Na etapa III utilizou-se o um método estatístico de Análise de Agrupamentos Hierárquicos (do inglês, *Hierarchical Cluster Analysis* – HCA), o qual permite otimizar os dados através de agrupamentos de estudantes com respostas similares (HAIR, 2005).

A análise de Agrupamento Hierárquico é uma técnica analítica com o intuito de formar e desenvolver subgrupos significativos de indivíduos. Em específico, o objetivo da técnica é classificar os indivíduos em um pequeno número de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre eles. Segundo Hair (2005), o algoritmo utilizado pela técnica consiste em calcular a distância euclidiana por meio dos dados das variáveis de interesse. Desta forma, a distância euclidiana é o estudo das relações entre ângulos e distâncias no espaço e emerge das repetidas aplicações da teoria de Pitágoras. Ao aplicar a fórmula representada na Figura 43 (cálculo da distância euclidiana) inicia-se a configuração hierárquica dos conjuntos de interesse, ou seja, grupos são formados por um processo de aglomeração ou divisão de similaridades de opiniões, concepções ou ideias.

Figura 43 – Fórmula para Cálculo da distância euclidiana para formação de grupos similares

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2}$$

Fonte: HAIR (2005)

Em que, d_{ij} representa a distância geométrica entre variáveis de interesse no plano multidimensional, x_i é a variável i e x_j é a variável j -ésimo.

A HCA foi realizada com o auxílio do software Pirouette ®. Para isso, utilizaram-se as planilhas referentes a três fases da pesquisa após a aplicação da fórmula representada na Figura 42. Justifica-se a utilização da técnica HCA para que a análise das sequências de transição progressiva não se torne exaustiva e repetitiva, uma vez que permite o agrupamento hierárquico de estudantes com respostas similares.

Para cada grupo formado a partir da técnica supracitada, será escolhido aleatoriamente um sujeito que represente as ideias da totalidade do grupo para demonstrar a análise da transição progressiva, ou seja, avaliar a evolução conceitual durante a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares, contemplado a etapa IV.

Ressalta-se que para a avaliação das sequências de transição progressiva, os níveis de representação da matéria também serão considerados. Para isso, adaptou-se as categorias propostas por Martorano (2012). A referida autora, baseando-se em uma perspectiva lakatosiana, elaborou modelos de ensino de cinética química a partir das ideias de professores da educação básica, procurando verificar se esses modelos formariam sequências de transição progressiva, similares ao que Lakatos (1998), na História da Ciência, se refere a “problemática” que aumenta o poder explanatório do modelo.

Martorano (2012) destaca que a compreensão da natureza descontínua da matéria, bem como a utilização de um modelo corpuscular, é de extrema importância para que os indivíduos consigam interpretar os fenômenos que ocorrem no mundo em que vivem. Desta forma, para que os estudantes aprofundem o conhecimento em Química é imprescindível que desenvolvam a habilidade de transitar entre o mundo macroscópico e submicroscópico, o que implica uma compreensão mais complexa sobre a natureza da matéria.

Segundo Souza e Cardoso (2008), o ensino e aprendizagem da Química exigem a teorização, construção e reconstrução de modelos que proporcionem a compreensão dos fenômenos da natureza e a elaboração de explicações coerentes por parte dos estudantes, de maneira a favorecer a proposição de previsões sobre esses fenômenos observáveis, para que eles utilizem, de maneira adequada, múltiplas representações.

Para Johnstone (2009), o estudante precisa interpretar cada um dos conceitos químicos de um determinado fenômeno, por meio dos diferentes níveis de representação (macroscópico, submicroscópico, simbólico), de forma que estejam impecavelmente vinculados uns com os outros durante o estudo, para desta forma, compreender e formular seus próprios modelos explicativos.

Nesse sentido, ao reconhecer a relevância sobre a compreensão dos conceitos referente ao tópico de forças intermoleculares, por meio dos diferentes níveis de representação da matéria, optou-se em utilizar uma adaptação das categorias sugeridas por Martorano et. al., (2013), conforme apresentado no Quadro 19.

Quadro 19 – Descrição das categorias propostas para os níveis de representação da matéria

Categoria	Descrição
MEM – Modelo explicativo macroscópico	Poderão se enquadrar nesta categoria os estudantes que apresentarem suas representações pictográficas somente com características macroscópicas, ou seja, representações descritivas e funcionais dos fenômenos em estudo.
MES – Modelo explicativo submicroscópico	Farão parte desta categoria os estudantes que representarem os fenômenos, por meio de entidades do mundo submicroscópico e pela utilização termos específicos da Química.
MEV – Modelo explicativo vinculado	Os estudantes se enquadrarão nesta categoria, se fizerem relações vinculadas entre os níveis submicroscópico e macroscópico, bem como representação dos fenômenos por meio de modelos aceitos cientificamente.

Fonte: Adaptado (MARTORANO , 2012).

Para analisar as sequências de transição progressiva, ou seja, investigar a construção/evolução do conhecimento do tópico de forças intermoleculares será considerado dois aspectos na análise dos modelos explicativos apresentados pelos estudantes. O primeiro aspecto está relacionado com a compreensão dos conceitos teóricos referentes ao conteúdo em questão, durante o desenvolvimento da SD baseados nas zonas filosóficas. O segundo refere-se à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, ou seja, pretende-se avaliar se os estudantes conseguem entender os fenômenos em estudo, por meio da descrição da situação empírica (macroscópico), explicação em nível atômico-molecular (Submicroscópico), bem como a representação química dos fenômenos (simbólico). Todo o processo de análise dos resultados será apresentado a seguir.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esse capítulo apresenta a análise da construção/evolução do conhecimento do tópico de forças intermoleculares de estudantes do nível médio. Investigou-se se a aplicação da SD contribui com a transição progressiva (NIAZ, 2000; MARTORANO, 2012) dos modelos explicativos dos estudantes investigados.

Desta forma, a análise referente à transição progressiva foi fundamentada nos pressupostos teóricos propostos por Níaz (2000) e Martorano (2012). Segundo os referidos autores, as modificações dos modelos explicativos podem ser comparadas às sequências de transições progressivas, similares ao que Lakatos na história da ciência se refere como mudança de teorias pelo aumento do poder heurístico dos modelos. Neste contexto, para ocorrer uma transição progressiva, segundo Lakatos (1998), é necessário que um novo modelo explique determinada teoria de forma mais abrangente.

Diante do exposto, a análise dos dados ocorreu antes, durante e após a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares em sala de aula na turma pesquisada. Acredita-se que a investigação dos modelos explicativos dos estudantes nesses três momentos pode permitir uma avaliação a respeito do nível de conhecimento que o sujeito apresenta em cada um desses períodos. Desta forma, foi possível elaborar sequências de transição progressiva para cada estudante, bem como acompanhar a construção do conhecimento referente ao conteúdo em questão.

4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIMENSÃO NATUREZA DAS FORÇAS INTERMOLECULARES

Inicialmente os dados foram organizados por dimensão e as respostas foram categorizadas em zonas filosóficas (realista, empirista e racionalista) por fase da pesquisa. Em seguida, foram elaborados *scores* com intuito de facilitar a visão global da evolução conceitual por partes dos estudantes pesquisados. A partir disso, classificaram-se os estudantes na totalidade da dimensão, aplicando uma fórmula e atribuindo um *score* que represente a construção do conhecimento nas três fases da pesquisa. Esses resultados foram tratados no método HCA com o auxílio do *software* Pirouette para organizar os estudantes em grupos com respostas similares. Em seguida, elegeu-se um estudante de cada grupo para a *análise da sequência de transição progressiva em dois aspectos: compreensão dos conceitos teóricos referentes ao conteúdo de forças intermoleculares e capacidade de transitar entre os*

níveis de representação da matéria. As informações supracitadas correspondem às quatro etapas do método de análise e seus resultados serão apresentados em seguida.

4.1.1 Processo de categorização inicial –Etapas I e II

- Fase Inicial

Foram analisadas 174 respostas de 29 estudantes participantes da pesquisa. A visão geral da categorização, bem como enxertos das respostas dos sujeitos, encontra-se representados no Quadro 20.

Quadro 20 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase inicial da pesquisa

Categoria	Enxertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Intermoleculares e a força de atração entre as células. Intramoleculares tem a ver com ações dentro delas.</i> - <i>Intermoleculares: no intermediário das moléculas, na sua superfície. Intramolecular: dentro da célula.</i> - <i>Intermolecular: moléculas interligadas. Intramolecular: moléculas dentro de outras.</i> - <i>São interações que acontecem dentro e fora das moléculas.</i> - <i>Sim. Pois podem haver mudanças/mutações mudando a genética da matéria.</i> 	16	55,2
Empirista	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ligações entre as moléculas polares, uma extremidade mais eletropositiva e outra mais eletronegativa.</i> - <i>Intramolecular: limitada ao interior da molécula. Intermolecular: moléculas diferentes para ocorrer interação.</i> - <i>Intermoleculares são covalentes. Intramoleculares e são iônicas.</i> - <i>Acho que são ligações entre determinadas moléculas. Intramoleculares no interior dela e intermolecular entre duas moléculas.</i> 	13	44,8
Racionalista	-	-	0

Fonte: Autores.

É possível perceber que a maioria (55%) dos estudantes apresentam concepções não científicas para as ideias relacionadas com a natureza das forças intermoleculares. A

conceituação representa ideias associadas ao senso comum. Esses resultados corroboram com a pesquisa desenvolvida por Miranda et al. (2018), que detectaram diversas concepções ingênuas por parte dos estudantes ao se referirem aos conceitos relacionados ao tema. Os resultados apontados por este estudo, nos fizeram repensar sobre o ensino de forças intermoleculares. Aprender Química implica apropriar-se de modos de pensar, de lógicas e de linguagens que se diferenciam do senso comum, ou seja, distanciar-se da realidade imediata e realizar novas leituras dessa mesma realidade, embasados na lógica da ciência aprendida.

Em relação à categoria empirista, observa-se que 44,8% dos estudantes se apropriam de alguns termos científicos, mesmo não articulados adequadamente. Apresentam concepções com um grau de abstração um pouco mais elevado que os estudantes classificados na categoria realista, entretanto não conseguem estabelecer muitas relações entre esses conceitos, dos quais possivelmente são oriundos de observações neutras indutivas.

- Fase intermediária

O Quadro 21 apresenta a categorização das respostas dos estudantes para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase intermediária da pesquisa.

Quadro 21 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase intermediária da pesquisa

(continua)

Categoria	Exertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	-	02	6,9
Empirista	- <i>Interação eletrostática entre moléculas. (E5)</i> - <i>Interações eletrônica do dipolo (permanente e induzido) naturezas.</i> - <i>É uma ligação entre as moléculas. Ou uma interação eletrostática entre as moléculas (E9).</i> - <i>A diferença entre essas duas interações, é que a intermolecular é sempre a interação eletrostática entre uma ou mais moléculas, e a intramolecular é a interação entre os átomos das moléculas, de uma ou mais moléculas. (E21)</i>	17	58,6

Quadro 21 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase intermediária da pesquisa

(conclusão)			
Racionalista	<p>- São as forças que interagem entre duas ou mais moléculas, e podem formar um dipolo induzido quando as moléculas forem apolares, ou dipolo permanente se as moléculas forem polares.</p> <p>- São interações eletrostáticas entre os dipolos das moléculas que, quando aproximadas, podem se formar em dipolo induzido ou permanente. Ela tem influência nas propriedades físicas das substâncias.</p> <p>- É a interação eletrostática de moléculas, polares e apolares, que formam polos (sofrem a polarização). As forças intermoleculares possuem natureza dipolo-induzido ou dipolo-permanente. AS forças apenas interferem nos estados físicos das substâncias.</p> <p>- A interação intramolecular é a ligação eletrostática entre os átomos por meio de ligação iônica, covalente, metálica. E a interação intermolecular é a interação eletrostática entre as moléculas por dipolo induzido ou permanente. A intramolecular: é possível formar novas substâncias. A intermolecular: somente altera a propriedade física.</p>	10	34,5

Fonte: Autores.

É possível perceber através da análise do Quadro 21 que os estudantes começam a evoluir conceitualmente, o que implica deixar de utilizar termos não científicos, oriundos do senso comum. Entretanto, ainda podemos notar que 58,6 % dos sujeitos pesquisados ainda pronunciam suas respostas enraizadas na observação neutra e aplicação de regras gerais para a definição dos conceitos abordados. Segundo Davydov (1972), em uma perspectiva empirista, o ponto inicial para a formação conceitual é a percepção sensorial dos objetos singulares, dos quais são utilizados para explicar os fenômenos em estudo. Ainda segundo o autor, é atribuída importância fundamental às experiências anteriores, apoiadas, quase sempre, em observações visuais, táteis e auditivas. Desta forma, essas observações acabam se tornando a base para a obtenção dos novos conhecimentos, ou seja, com isso, os estudantes não conseguem fornecer uma explicação satisfatória quanto ao processo de formação de conceitos mais complexos.

Destaca-se que nesta fase da pesquisa, já havíamos trabalhando dentro de uma lógica dialética construtivista, enfatizando a correlação entre o macroscópico, submicroscópico e simbólico dos conteúdos abordados. Entretanto, as observações supracitadas acabam sendo

um obstáculo para a aprendizagem dos estudantes. Esses fatos podem ser exemplificados nas respostas dos estudantes E5, E9 e E16, as quais não conseguem fornecer relações específicas em suas explicações, apenas aplicação de regras gerais para conceituar a natureza das forças intermoleculares.

Também é perceptível que nesta fase da pesquisa 34,5% dos estudantes conseguiram estabelecer conexões entre a natureza das forças intermoleculares e outros conceitos, tais como: apolar, polar, dipolo induzido, dipolo permanente, polarizabilidade, ligação iônica, covalente, metálica e propriedades físicas da matéria, entre outros. Desta forma, as várias relações estabelecidas nas respostas analisadas sinalizam que o conhecimento referente ao tópico evoluiu após a participação dos sujeitos nas atividades propostas na unidade didática 1.

É necessário destacar a importância do papel docente na construção do conhecimento e argumentações científicas por parte dos estudantes. O professor deve proporcionar um ambiente de discussões coletivas para que os estudantes sejam capazes de construir, reconstruir e relacionar suas concepções frente aos conhecimentos estabelecidos nos conteúdos escolares. Carvalho (2004) enfatiza que para ocorrerem modificações na linguagem do aluno (cotidiana para científica), o docente precisa oportunizar que os estudantes exponham suas ideias sobre os fenômenos em estudo.

- Fase final

Para essa fase foram analisadas 145 respostas. O Quadro 22 apresenta o resultado da categorização para a fase final.

Quadro 22 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase final da pesquisa

(continua)

Categoria	Exertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	-	-	-
Empirista	- <i>Atração entre duas moléculas. E6</i> - <i>Ligações entre moléculas, elas são responsáveis pelos estados físicos e do ponto de ebulição e fusão. E11</i> - <i>A força intermolecular é ligações entre moléculas. E22</i> - <i>Inter ocorre entre moléculas e intra entre átomos. Intermolecular une um átomo com o outro. E22</i> - <i>Intermolecular é entre moléculas e intramolecular é entre átomos. E26</i>	18	52

Quadro 22 – Categorização das respostas para a dimensão natureza das forças intermoleculares na fase final da pesquisa

(conclusão)			
Categoria	Enxertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Racionalista	<p>- É uma interação eletrostática entre moléculas, formando assim, cargas parciais positivas e cargas parciais negativas. Os polos com cargas positivas irão interagir com os polos de cargas negativas, gerando uma polarização. E2</p> <p>- Forças intermoleculares é a interação eletrostática entre os dipolos das moléculas esses dipolos tem a natureza pode ser permanente e induzido. Além disso, essas forças influenciam diretamente as propriedades físicas da matéria. E5</p> <p>- Forças intramoleculares é a interação que une os átomos de uma molécula e ela interfere nas características químicas da molécula. Forças intermoleculares é a interação entre as moléculas, ela interfere nas características físicas de uma substância, pode ser dipolo-dipolo, forças de London e Ligação Hidrogênio. A ligação intramolecular pode ser covalente, iônica e metálica, é muito mais forte que a intermolecular. E17</p> <p>- Intermoleculares: é a interação entre moléculas. Intramoleculares é entre os átomos da molécula. Intermolecular é a força que define o estado físico da substância, as interações podem ser por dipolo permanente ou dipolo induzido. Essas forças que definem ou PF e PE, por causa das interações ente moléculas. E25</p>	11	48

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos nesta fase da pesquisa apresentam alguns avanços em relação ao a evolução conceitual por partes dos estudantes. É possível perceber respostas bem elaboradas e que envolvem a relação de outros conteúdos, conforme observa-se na resposta do estudante E17. Ele conseguiu expressar corretamente a relação entre as ligações químicas e as forças intermoleculares, diferenciando as forças de atração entre as moléculas (forças de London, dipolo-dipolo e ligação e hidrogênio) das interações eletrostáticas entre os átomos (iônica, covalente e metálica), bem como compreendeu que as interações intermoleculares interferem nas propriedades físicas e as intramoleculares, nas propriedades químicas. Os enxertos destas respostas mostram uma compreensão global a cerca dos tópicos que envolvem os conceitos relativos às forças intermoleculares.

Entretanto, ainda se observa que 52% dos estudantes não conseguiram superar suas ideias iniciais, atribuindo ainda significados provindos do senso comum. Para Niaz (1998)

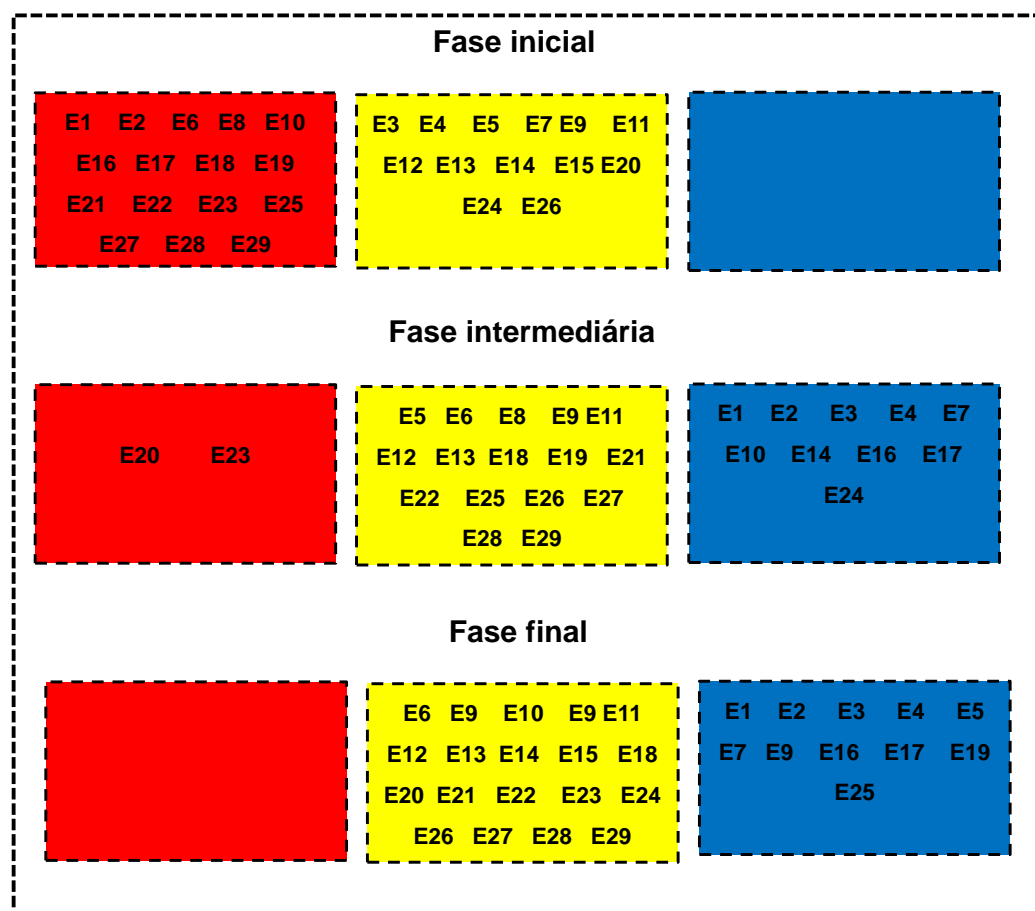
essas convicções que são resistentes às mudanças podem ser equiparadas ao “núcleo duro”, similares ao núcleo de um Programa de Investigação Científica, ou seja, esse núcleo é a o que define o programa, assume forma de uma hipótese teórica geral, no qual o programa se desenvolve e, desta forma, para removê-lo ou alterá-lo o tornará degenerativo. Para o autor, os estudantes resistem a mudanças em suas convicções nucleares por criarem “hipóteses auxiliares” para defendê-las. Essas hipóteses auxiliares podem prover pistas para a construção de novas táticas de ensino.

Ainda segundo Niaz (1998) é importante explorar a relação entre as convicções nucleares e as concepções alternativas dos estudantes. Para isso, é primordial que as concepções alternativas sejam interpretadas dentro dos pressupostos epistemológicos, pois desta forma, uma concepção alternativa não se torna um mero engano e se assemelha a um paradigma. Segundo o autor, tal semelhança pode contribuir para que se torne uma candidata à mudança.

Analogamente ao processo de aprendizagem, Lakatos (1970) destaca que na ciência, o núcleo de um Programa se desenvolve lentamente por um processo longo e lento de tentativa e erro e nunca emerge do nada. Desta forma, o ato de aprender é um processo vagaroso e requer a utilização de métodos que favoreçam com que o estudante consiga superar suas convicções nucleares.

Dentro deste contexto, a Figura 44 mostra a evolução conceitual dos participantes da pesquisa. Esta análise fornece uma visão geral sobre a construção do conhecimento em forças intermoleculares e foi um auxílio na elaboração da transição progressiva.

Figura 44 – Classificação dos estudantes por zona filosófica nas três fases da pesquisa



Legenda:

Realismo		Empirismo		Racionalismo	
-----------------	--	------------------	--	---------------------	--

Fonte: Autores.

Já nesse momento, é possível observar indícios da formação de sequências de transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes investigados. Alguns estudantes (E1, E2, E5, E16, E17) na fase inicial apresentaram ideias não científicas associadas ao senso comum. Entretanto, percebeu-se que ao longo das SD, houve uma evolução significativa dos modelos desses estudantes, pois eles começaram a expor formas científicas de pensar os conceitos relativos às forças intermoleculares.

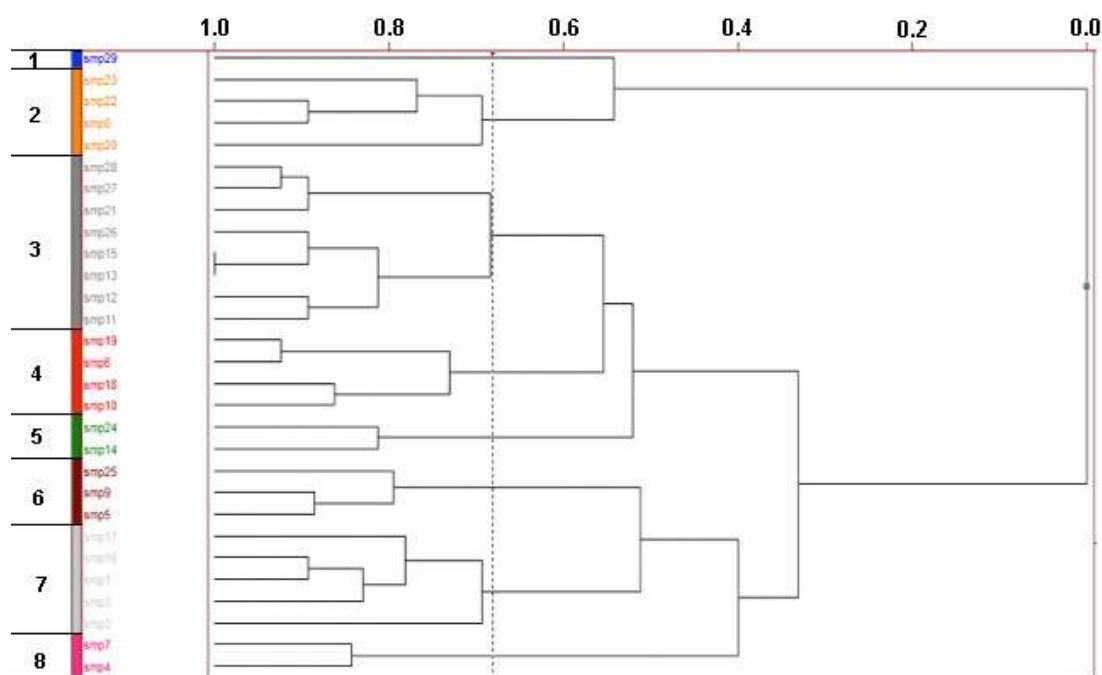
Observou-se também que 58,6% mantiveram suas convicções nucleares, não abandonando ideias derivadas diretamente das observações e aplicação de regras gerais. Esses resultados corroboram com Pazinato (2016), o qual detectou que os estudantes possuem dificuldades em abandonar a ideia de que a regra do octeto é responsável pela estabilidade dos compostos, permanecendo com essas visões empiristas, fruto de observações neutras e aplicações de regras gerais.

III Etapa

Os resultados apresentados até o presente momento representam uma visão geral da evolução conceitual por parte dos estudantes investigados. Considerou-se oportuno utilizar o método estatístico multivariado para reconhecimento de padrões naturais, com vistas ao desenvolvimento das sequências de transição progressiva por grupos de alunos com respostas similares. Para isso, foram elaboradas as planilhas localizadas nos apêndices Y e Z.

O dendrograma obtido a partir da HCA está representado na Figura 45. Os ramos do dendrograma indicam oito grupos de alunos (I–VIII) com 68,1% (0,681) de similaridade.

Figura 45 – Dendrograma obtido a partir da HCA para a primeira dimensão



Dendrograma obtido a partir da HCA utilizado o método Ward/Incremental e a distância Euclidiana.

Fonte: Autores.

A Tabela 7 apresenta o agrupamento de estudantes com respostas similares, bem como o sujeito escolhido para realizar o desenvolvimento da sequência de transição progressiva.

Tabela 7 – Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva

	Estudantes	Transição progressiva
Grupo I	E29	E29
Grupo II	E8 E20 E22 E23	E23
Grupo III	E11 E12 E13 E15 E21 E26 E27 E28	E11
Grupo IV	E6 E10 E18 E19	E19
Grupo V	E14 E24	E14
Grupo VI	E5 E9 E25	E25
Grupo VII	E1 E2 E3 E16 E17	E1
Grupo VIII	E4 E7	E7

Fonte: Autores.

Ressalta-se que o critério de escolha está relacionado com o sujeito que melhor representa as ideias do grupo. A seguir serão desenvolvidas as sequências de transição progressiva dos estudantes mencionados na Tabela 7.

4.1.2 Transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes para a dimensão natureza das forças intermoleculares

Etapa IV

Conforme mencionado, as sequências de transição progressiva serão avaliadas em dois aspectos. O primeiro está relacionado com a compreensão dos conceitos teóricos referentes aos conceitos referentes às forças intermoleculares. O segundo refere-se à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria.

Diante disso, para essa dimensão, considerou-se importante analisar a evolução do conhecimento nas três fases da pesquisa dos seguintes conceitos:

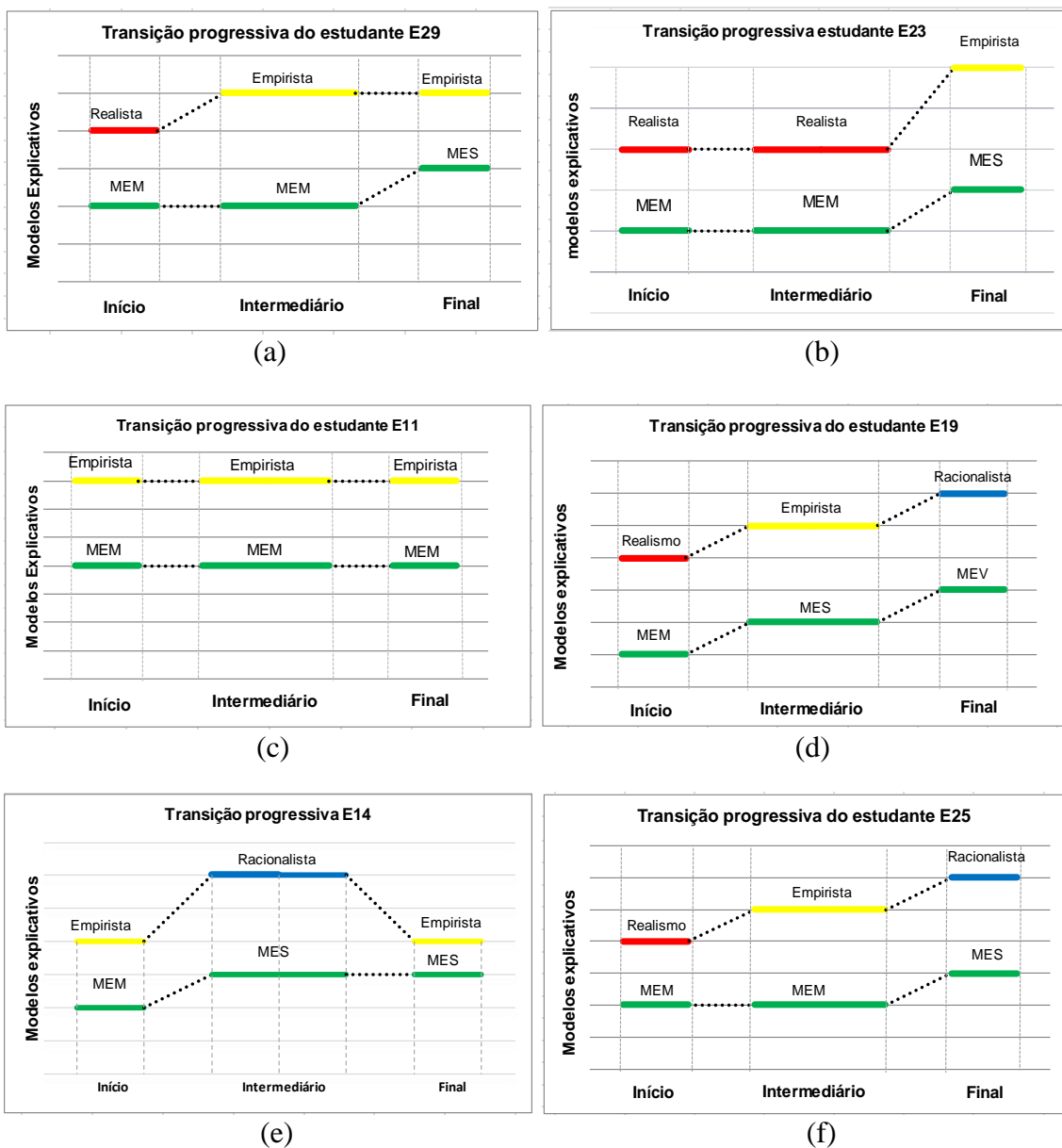
- ✓ Natureza das forças intermoleculares;
- ✓ Relação entre as forças intermoleculares e as propriedades físicas da matéria;
- ✓ Solubilidade;
- ✓ Explicação dos fenômenos pelos níveis de representação da matéria.

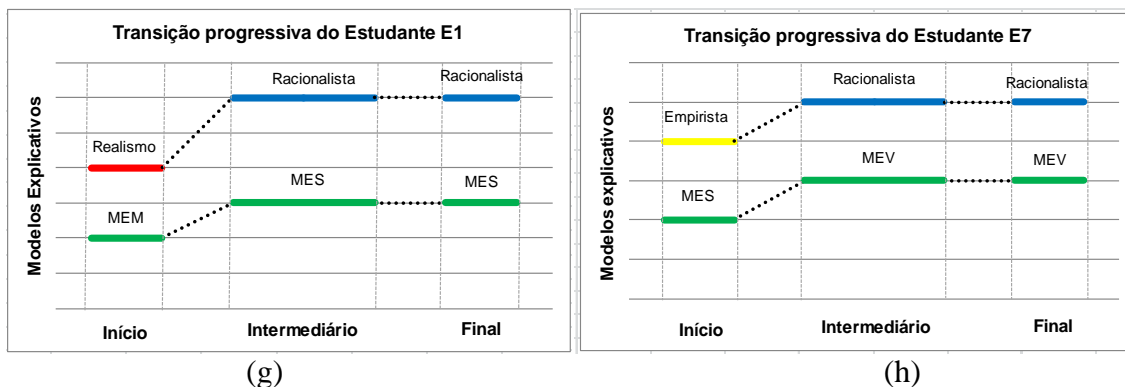
Análise da transição progressiva dos estudantes na dimensão natureza das forças intermoleculares nas três fases da pesquisa.

A Figura 46 representa os gráficos que apresentam a evolução dos modelos explicativos dos estudantes E29, E23, E11, E19, E14, E25, E1 e E7, ou seja, a transição

progressiva em relação à compreensão do conteúdo de forças intermoleculares e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. Ressalta-se que os sujeitos foram escolhidos pelo critério de melhor representatividade das ideias do grupo.

Figura 46 – Transição progressiva dos estudantes E29, E23, E11, E19, E14, E25, E1 e E7 nas três fases da pesquisa.





Fonte: Autores.

De acordo com os pressupostos de Lakatos (1998), foram construídos modelos explicativos do conteúdo de forças intermoleculares a partir das ideias dos estudantes investigados, procurando analisar se esses modelos formam sequências de transição progressiva, similares ao que Lakatos (1998), na História da Ciência, se refere à “problemática” que aumenta o poder explanatório/heurístico do modelo.

Serão analisadas as transições progressivas dos estudantes E29, E23, E11, E19, E14, E25, E1 e E7, por meio de suas respostas, durante o desenvolvimento das sequências didáticas nas três fases da pesquisa.

Inicialmente, observa-se a partir da análise dos gráficos, que as atividades desenvolvidas durante a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares contribuíram para a transição progressiva dos estudantes E19, E25, E1 e E7. Em relação aos estudantes E19 (representante do grupo IV) e E25 (representante do grupo VI), é perceptível a evolução conceitual, pois inicialmente, possuíam visões dentro de uma perspectiva realista e ao decorrer das atividades foram aprimorando conceitualmente suas concepções, o que implica o progresso para a zona empirista e racionalista, respectivamente. Em relação ao estudante E14 (representante do grupo V), observa-se que inicialmente já possuía visões empiristas, ou seja, oriundas das observações e aplicações de regras gerais sobre o tema e, desta forma, progrediu na fase intermediária para concepções racionalistas, no entanto, houve um retrocesso na fase final da pesquisa. Acredita-se que um dos motivos pelo qual a concepção empirista parece ter ficado tão fortemente enraizada nas ideias dos estudantes, de forma geral, é pela convicção de que o conhecimento científico, derivado dos dados experimentais, é um conhecimento objetivo e provado. Desta forma, é difícil abandonar essas ideias, o que implica maior atenção por parte dos professores para que as concepções empiristas sejam superadas, com vistas a evolução conceitual em relação ao tema proposto. Os aspectos supracitados corroboram com o resultado apresentado no gráfico (a) e (c), estudantes E29 e E11.

Em relação ao conhecimento sobre forças intermoleculares e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, percebeu-se uma estreita relação entre as zonas filosóficas que os estudantes foram enquadrados com a habilidade de explicar seus modelos, por meio dos níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico. Por exemplo, o estudante E11 não conseguiu evoluir conceitualmente nas três fases da pesquisa, permanecendo com concepções empiristas e, desta forma, percebeu-se que suas representações pictográficas continham apenas características macroscópicas, ou seja, representações funcionais dos fenômenos em estudo. Conforme já mencionado, um estudante que apresenta concepções majoritariamente empiristas, apesar de possuir um certo grau de abstração, não consegue geralmente, estabelecer muitas relações entre os conceitos, o que implica a dificuldade em explicar os fenômenos, por meio da vinculação entre o observável e inobservável.

Algo semelhante e contrário ocorreu com o representante do grupo IV, E19. Esse estudante apresentou uma sequência de transição progressiva durante as três fases da pesquisa, ou seja, iniciou com ideias realistas, progrediu para concepções empiristas e ao final conseguiu apresentar explicações científicas mais complexas e inter-relacionadas, sendo enquadrado na zona racionalista. Observou-se que essa evolução conceitual, favoreceu a compreensão dos fenômenos em estudo, por meio da vinculação dos níveis de representação da matéria.

Os estudantes E1, E14, E29, E23 e E25 evoluíram do modelo macroscópico para o submicroscópico, no entanto não estabeleceram relações entre eles.

A seguir será analisado a evolução conceitual sobre a natureza das forças intermoleculares (NFI), a relação entre essas forças e as propriedades físicas (FIPF) e a solubilidade (FIS), em cada fase da pesquisa, bem como a análise da capacidade em transitar entre os níveis de representação da matéria.

- Fase inicial

O Quadro 23 apresenta as concepções dos estudantes sobre os conceitos mencionados na fase inicial da pesquisa.

Quadro 23 – Concepções dos estudantes na fase inicial da pesquisa

Estudante	NFI	FIPF	FIS
E29	- <i>Ligações das moléculas.</i>	- <i>Sim. Eu acho, porque em toda matéria tem moléculas.</i>	- <i>Pois em contato com a água (solvente universal), se torna uma maneira mais forte de limpar impurezas.</i>
E23	- <i>São as forças das moléculas.</i>	- <i>Sim. Porque faz com que haja influência uma com as outras.</i>	- <i>O sabão limpa e depois cria uma camada de proteção.</i>
E11	- <i>Interação entre diferentes moléculas.</i>	- <i>Sim. Porque com a interação entre as moléculas a propriedade pode mudar.</i>	- <i>Sabão (apolar) se mistura com a gordura (apolar) e a água (polar) repele essas substâncias.</i>
E19	- <i>Interação entre as células das moléculas.</i>	- <i>Sim. Pois eles agem de formas diferentes.</i>	- <i>Talvez, pelas substâncias presentes no sabonete.</i>
E14	- <i>Interação entre as moléculas diferentes.</i>	- <i>Sim. Porque quando ocorre esta interação muda o estado da matéria.</i>	- <i>O sabão é apolar e em contato com a gordura eles se misturam e a água que é polar repele os dois.</i>
E25	- <i>Interação entre moléculas do meio interno.</i>	- <i>Sim. Pois podem haver mudanças/mutações mudando a genética da matéria.</i>	- <i>Por que o sabão tem a mesma polaridade dessas substâncias.</i>
E1	- <i>Ligação no interior das moléculas.</i>	- <i>Sim. Pode haver alguma mutação na terra.</i>	- <i>Pelas propriedades mágicas do sabão.</i>
E7	- <i>Interações entre moléculas polares.</i>	- <i>Sim. Pois ao fazer uma interação, uma ligação eles se modificam e isso influencia as propriedades das matérias.</i>	- <i>Porque o sabão atrai a gordura por ter uma parte apolar.</i>

Fonte: Autores.

De acordo com as concepções dos estudantes apresentadas no Quadro 23, inicialmente em relação às concepções sobre a natureza das forças intermoleculares, eles tentam buscar um significado literal para o conceito abordado, fundamentando suas ideias em aspectos advindos do senso comum. Além disso, os estudantes possuem dificuldades em diferenciar as interações intermoleculares das ligações químicas. Pesquisadores da área (NAKHLEH, 1992; REIS, 2008; GILBERT, 1993) advertem que a aprendizagem do tema apresenta dificuldades relacionadas ao nível de abstração exigido e têm apontado diversas concepções alternativas de alunos que vivenciaram o ensino tradicional do tema.

Sabe-se que as interações intermoleculares surgem devido às forças que são essencialmente de natureza elétrica, o que implica a influência do comportamento de outras moléculas em suas proximidades (REIS, 2008). No entanto, para o entendimento destes

conceitos, é necessário compreender que as moléculas interagem não pelo simples fato de se aproximarem entre si ou por ligações entre moléculas próximas, mas por meio de uma força de natureza eletrostática que gera uma polarização induzida ou permanente.

Esses aspectos convergem com as ideias iniciais dos estudantes em relação aos conceitos referentes às propriedades físicas e solubilidade. Todos os estudantes acreditam que existe a influência das forças intermoleculares nas propriedades físicas da matéria. Entretanto, continuam fundamentando suas respostas em aspectos observáveis, sem criticidade e racionalidade. Desta forma, na fase inicial prevalece as concepções realistas sobre o conteúdo abordado.

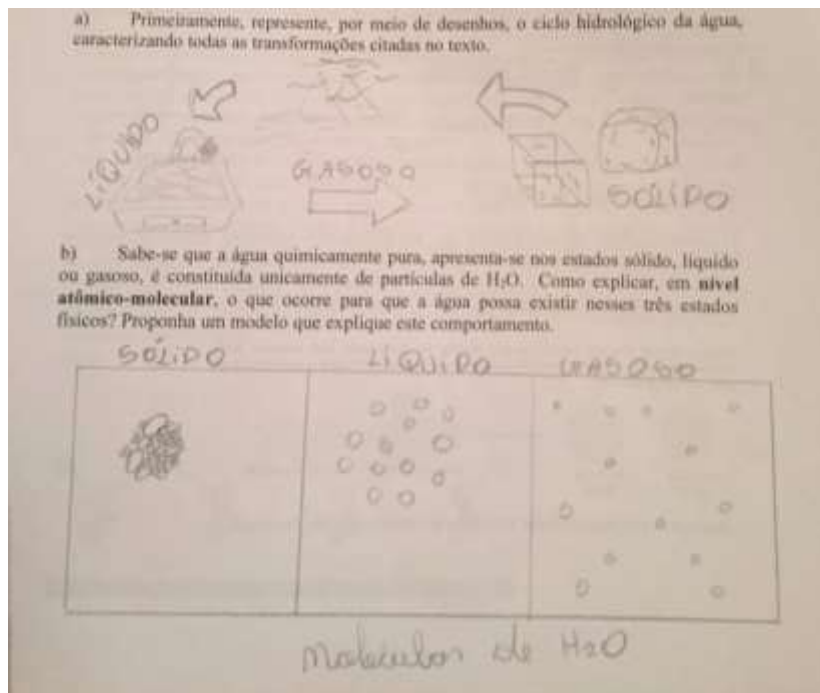
Em relação a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, com o intuito de avaliar a relação entre esses níveis e a evolução conceitual sobre forças intermoleculares, foram avaliados os modelos explicativos dos estudantes em questões que exigem a interpretação de fatos do cotidiano.

Detectou-se que todos os estudantes, sem exceção, nesta fase da pesquisa, apresentaram suas representações pictográficas com características macroscópicas, apenas descrições dos fenômenos em estudo.

Algumas pesquisas destacam que os estudantes possuem dificuldades em compreender as representações em química (BEN-ZVI et al., 1990). O entendimento em nível atômico-molecular é, em especial, de difícil compreensão, pois são invisíveis e abstratos, uma vez que as concepções dos estudantes são construídas pela informação sensorial. Além disso, os estudantes não conseguem estabelecer relações coerentes entre o nível macroscópico e submicroscópico, mesmo que tenham conhecimento conceitual e habilidade de visualizar, muitas vezes são incapazes de transitar de um nível para outro (POZO, 2001; KOZMA e RUSSELL, 1997).

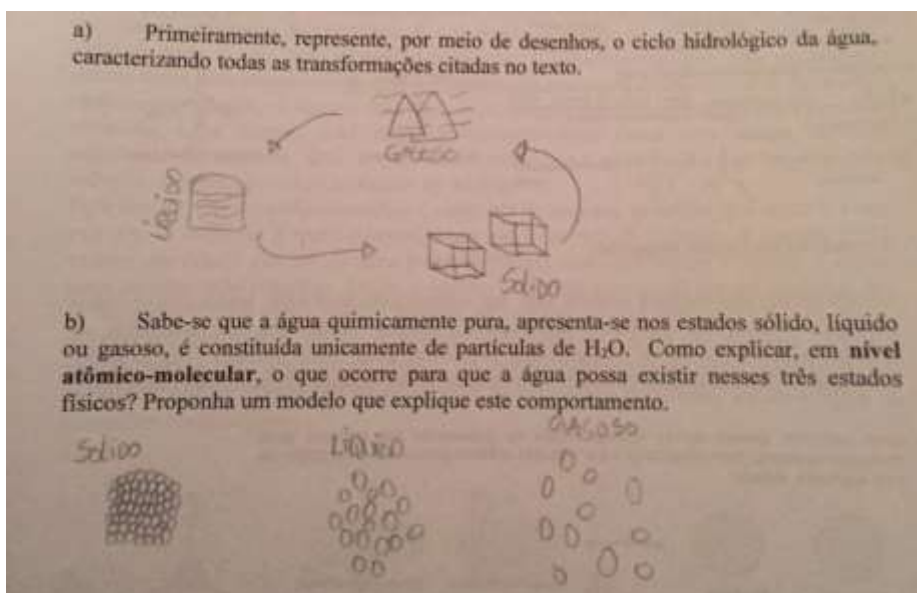
Esses aspectos podem ser observados nas Figuras 47, 48 e 49, pois representam os modelos pictográficos dos estudantes E29, E1 e E19, respectivamente.

Figura 47 – Representação pictográfica do E29 na fase inicial



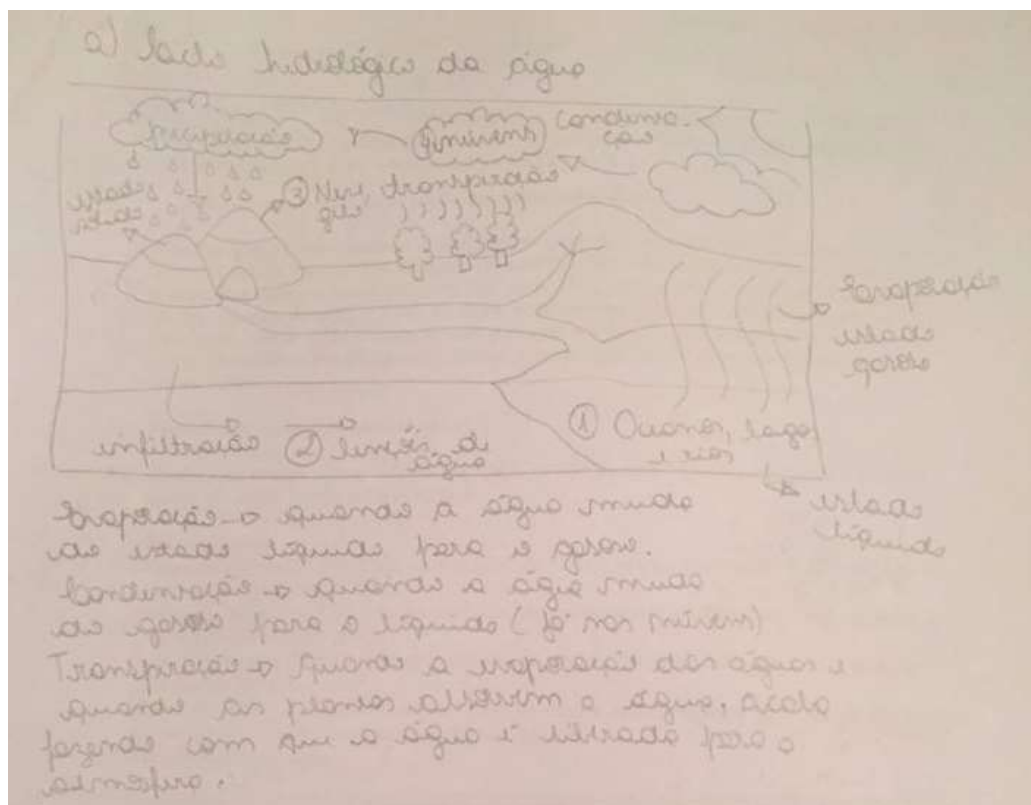
Fonte: Autores.

Figura 48 – Representação pictográfica do E1 na fase inicial



Fonte: Autores.

Figura 49 – Representação pictográfica do E19 na fase inicial



Fonte: Autores.

É possível observar que os estudantes não conseguem elaborar um modelo que represente em nível atômico-molecular a explicação do por que a água existe nos três estados físicos da matéria. Eles fazem uma descrição funcional do fenômeno em estudo, apresentando uma visão descontínua da matéria, ou seja, uma visão neutra e particular. Os estudantes E29 e E1 até tentam elaborar um esquema, por meio de “bolas” para explicar, talvez, a estado de agregação das partículas nesses estados, no entanto não há a representação submicroscópica fidedigna das moléculas de água.

Essas concepções podem ser fruto de um processo de aprendizagem em Química que enfatiza o enfoque conceitual, estudando a constituição da matéria (prótons, nêutrons, elétrons, moléculas, átomos) de forma isolada, neutra e descontextualizada. Se torna um estudo particular, desvinculado dos fenômenos que se pretende entender. Desta forma, essas explicações ou representações, muitas vezes, são reforçadas por erros conceituais encontrados nos livros didáticos de Química. Portanto, para compreender a Química, é necessário que os estudantes estejam familiarizados com os significados de modelos científicos, bem como com as diferenças e relações entre os fenômenos físicos, modelos e teorias e a simbologia química.

- Fase intermediária

O Quadro 24 apresenta as concepções dos estudantes investigados na fase intermediária da pesquisa.

Quadro 24 – Concepções dos estudantes na fase intermediária da pesquisa

(continua)

Est	NFI e FIPF	FIS
E29	<i>- Interação intermoleculares é entre moléculas A intermolecular é separada em dipolo induzido (moléculas apolares) e dipolo permanente (moléculas polares).</i>	<i>- Porque o sabão vai se “misturar”, ou seja, suas moléculas vão entrar em meio a gordura e vai facilitar a remoção, sabão tem esta função, então vai ser um solvente para substâncias apolares, apolar prepara e polar "elimina", interagindo das 2 formas, sabão apolar com gordura e polar com água.</i>
E23	<i>É a força que cada molécula possui e influencia diretamente nas partes físicas da matéria.</i>	<i>- A água é polar e o sabão é polar e apolar com isso, o sabão junto com a água vai reagir e vai acontecer a remoção da gordura.</i>
E11	<i>Força Intermolecular ocorre entre as moléculas. As forças que agem nas substâncias são dipolo induzido ou dipolo permanente. AS forças se influenciam da seguinte maneira: as moléculas criam uma interação intermolecular entre elas.</i>	<i>- Facilita porque o sabão é apolar como a gordura, tem afinidade, mas a água é polar, mas o sabão vai interagir com os dois.</i>
E19	<i>Interações intermoleculares: são interações com dipolo permanente e induzido</i>	<i>- O sabão facilita na hora da remoção de substâncias apolares, pois o sabão tem uma parte apolar e polar, sendo assim as duas interagem com a água, facilitando o processo de remoção de gorduras presente no corpo.</i>
E14	<i>As forças ocorrem com moléculas e interferem diretamente nas propriedades físicas das substâncias, podem ser de natureza dipolo induzido ou dipolo permanente. As interações intramoleculares ocorrem com átomos de uma mesma molécula e interferem diretamente nas propriedades químicas, podem ser divididas entre ligação metálica, molecular ou iônica.</i>	<i>- O sabão tem uma parte polar e outra apolar, a parte polar vai se misturar com a água e a parte apolar vai se misturar com as substâncias gordurosas. E assim fazendo com que as partes polares repelem as partes</i>

Quadro 24 – Concepções dos estudantes na fase intermediária da pesquisa

(conclusão)

Est	NFI e FIPF	FIS
E25	<i>Intermoleculares: é uma interação entre moléculas.</i>	<i>- Como o sabão tem uma parte polar e a outra apolar ele interage, tanto com a água que é polar tanto com a gordura, que é apolar. Então os semelhantes se dissolvem e acontece a fácil remoção da substância que está em contato com a pele.</i>
E1	<i>Interação intermoleculares é entre moléculas e intramoleculares é entre átomos. A intermolecular é separada em dipolo induzido (moléculas apolares) e dipolo permanente (moléculas polares). Elas influenciam nessas substâncias pois quando perdem ou recebem energia, mudam seu estado físico.</i>	<i>- Pois o sabão é uma substância polar e apolar, com isso uma parte se associa com a gordura e a outra faz a proteção da pele, com isso quando passa a água a parte polar se mistura com a água e leva a gordura junto.</i>
E7	<i>Intermoleculares são interações entre moléculas de átomos. Intramoleculares são interações entre átomos. Quando acontece o rompimento da interação intermolecular nas moléculas acontece a mudança no estado físico.</i>	<i>- O sabão contém uma parte polar e outra apolar. As gorduras sendo apolares vão interagir com a parte apolar e a água com a parte polar do sabão. Com a interação de todas as moléculas o sabão e a água ajudam na eliminação da sujeira.</i>

Fonte: Autores.

Nesta fase da pesquisa, observa-se que, progressivamente, as concepções dos estudantes começam a evoluir. Nota-se que em relação ao conhecimento sobre a natureza das forças intermoleculares, eles apresentam respostas mais elaboradas, com um nível de complexidade maior e inter-relação entre os conceitos.

Um trabalho desenvolvido pela autora da tese (MIRANDA, et al., 2018), também destaca que um dos graves entraves para a aprendizagem dos conteúdos referentes às forças intermoleculares está relacionado com a confusão que os estudantes fazem entre estas forças e as ligações químicas. Diante disso, observa-se que os representantes dos grupos mencionados na Tabela 7 (E14, E1 e E7), já nesta fase, conseguiram compreender que uma interação química entre moléculas são atrações e repulsões entre as espécies envolvidas, sem que ocorra a formação de novas ligações químicas. Destacaram ainda que quando as ligações químicas são rompidas ocorre a formação de novas substâncias, ou seja, ocorre uma reação química.

Desta forma, percebe-se que apresentaram ideias coerentes com aquelas presentes nas explicações científicas.

No entanto, ainda fica nítido que as concepções empiristas prevalecem nas ideias dos estudantes. Aplicar regras gerais, tais como definir as forças intermoleculares apenas como interações entre moléculas, deixa claro que as visões do empirismo ainda influenciam as suas concepções. Para Blanco e Niaz, (1998), a concepção dos estudantes sobre determinados conceitos é diretamente influenciada pelos professores e pelo ambiente de sala de aula e, desta maneira, essa visão pode advir profundamente numa assimilação subconsciente. Lakatos (1978) opondo-se ao empirismo, adverte que essa teoria passivista sustenta que o conhecimento científico é verdadeiro e inquestionável, pois é obtido como uma marca impressa pela natureza em uma mente inerte, o que implica a inviabilidade de interpretações à luz das teorias. Desta forma, os estudantes enraízam o conhecimento pronto e acabado, dificultando a superação destes entraves para a aprendizagem racional.

Esses aspectos corroboram com os resultados apresentados na Figura 46 e nos gráficos (a), (b), (c), (d) e (f) dos estudantes representantes E29, E23, E11, E19 e E25, respectivamente. Nesta fase da pesquisa, mesmo desenvolvendo atividades investigativas, ainda sim, os estudantes expressaram seus modelos explicativos com termos científicos derivados diretamente das observações, sem muitas relações entre os conceitos. Isso pode ser observado na Figura 50, por meio das respostas do estudante E29.

Figura 50 – Resposta do E29 referentes a atividade experimental desenvolvida na Unidade Didática 1

Tubo	Elabore argumentos que expliquem quimicamente o que está ocorrendo em cada tubo de ensaio (hipóteses)
Tubo de ensaio 1	Os dois não se misturam, os dois tem polaridade diferente, um é polar e um é apolar
Tubo de ensaio 2	Os dois se misturam por que ambos são voláteis. Uma carga parcial positiva, e carga parcial negativa $H_2^{+} - Cl^{-}$ $O^{2-} - H_2^{+}$ Eles vão se misturar
Tubo de ensaio 3	Açúcar se dissolve porque há uma interação entre os polos do açúcar e da água.
Tubo de ensaio 4	3 fases 2 fases de uma mistura heterogênea por o hexano e o Iodo são apolares 1ª fase de água, mistura homogênea, a 2ª fase de água são voláteis

Fonte: Autores.

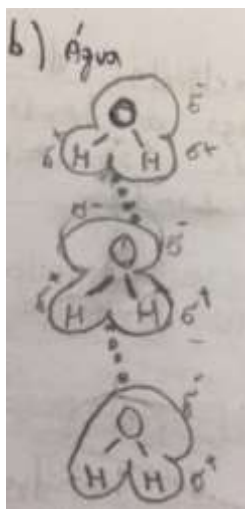
É possível observar que esse estudante se prende à aplicação de regras gerais para a conceituação dos termos, como uma simples síntese indutiva do fenômeno observado. A maioria dos estudantes justificaram o processo de dissolução pela regra que “semelhante dissolve semelhante” em detrimento a uma compreensão em nível submicroscópico. Isso retrata que os conceitos são apenas algoritmos memorizados pelos estudantes sem uma compreensão conceitual mais profunda, oriundas de visões empiristas sobre o conhecimento químico. Sendo importante destacar que a Química não deve ser ensinada de forma restrita à utilização de regras e sim por meio da compreensão qualitativa dos fenômenos.

Esses aspectos estão em ressonância com a visão de Lakatos (1978) acerca dos conceitos que partem da observação e experimentação e que são entendidos como neutros. Esses dados permitem, por indução, o estabelecimento de leis que constituem o conhecimento científico, ignorando o papel das hipóteses geradas pela mente humana. Por isso, que muitas vezes, as concepções são difíceis de serem superadas, com vistas a uma visão mais racional dos fenômenos.

Em relação aos modelos pictográficos dos estudantes, percebe-se que as atividades desenvolvidas favoreceram a transição progressiva de 50% dos estudantes até o presente momento. Metade dos estudantes conseguiu evoluir para um modelo submicroscópico, ou seja, conseguiram representar os fenômenos, por meio de espécies químicas submicroscópicas, bem como pela utilização de termos específicos da química. Os representantes E19 e E7 conseguiram fazer relações entre o nível submicroscópico e macroscópico, enquadrando-se no modelo explicativo vinculado (MEV).

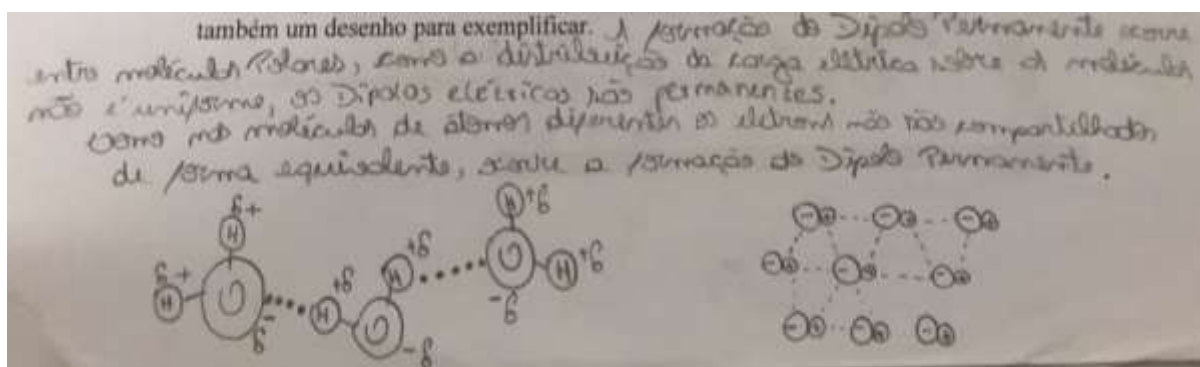
A Figuras 51 e 52 representam as representações pictográficas dos estudantes E1 (MES) e E19 (MEV), respectivamente.

Figura 51 – Representação pictográfica do E1 na fase intermediária



Fonte: Autores.

Figura 52 – Representação pictográfica do E19 na fase intermediária



Fonte: Autores.

Observa-se que o representante do grupo VII, estudante E1 representa seu modelo explicativo de forma submicroscópica, destacando a polarizabilidade, formação das cargas parciais positivas e negativas, dipolo permanente e principalmente, representou de forma correta a interação hidrogênio, por meio das ligações pontilhadas entre os polos positivos e negativos da molécula de água. Esse desenho representa a compreensão do nível atômico-molecular de um determinado fenômeno, não simplesmente uma descrição do observável, mas um entendimento dos conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação.

O representante do grupo IV, E19 apresentou seu modelo explicativo um pouco mais completo, destacando, além dos conceitos supracitados, a relação entre o observável e o inobservável.

Fica claro que é possível vincular os pressupostos da epistemologia da Ciência Química (especificidades da representação estrutural) com o planejamento das atividades de ensino, com vistas a superação de visões empiristas, ou seja, evitadas pela memorização ou pela ótica do experimento ingênuo. Essas ideias estão de acordo com Giordan (2008), o qual enfatiza que é necessário direcionar a atenção para atividades que relacionem fenômenos representacionais com a realidade macroscópica e submicroscópica, de forma que os estudantes dominem esses conceitos para elaborar significados coerentes com os modelos científicos.

Para Garnett (1995), é necessário desenvolver atividades que busquem a construção de modelos mentais, como atividades experimentais ou manipulação de algo concreto no nível macroscópico, para assim, trabalhar em nível submicroscópico, por meio da utilização de imagens, simulações, modelos atômico-moleculares, cujo objetivo seja elaborar modelos explicativos adequados ao sistema químico em estudo. O autor adverte que o nível simbólico precisa ser empregado no ensino, pois é parte fundamental da química, entretanto, não pode ser o único abordado, pois isoladamente, não contribui efetivamente para a construção de modelos explicativos decorrentes da aprendizagem de conceitos químicos.

- Fase final

Na fase final, observa-se que as atividades desenvolvidas contribuíram com a transição progressiva dos modelos explicativos dos representantes E19, E25, E1 e E7. O estudante E29 e E23 evoluíram conceitualmente de visões realistas para concepções empiristas. O E11 permaneceu nas três fases da pesquisa com ideias empiristas. Já o estudante E14, evoluiu para concepções racionalistas na fase intermediária, no entanto, houve uma regressão de suas concepções, na fase final.

O Quadro 25 apresenta as concepções dos estudantes na fase final da unidade didática 1.

Quadro 25 – Concepções dos estudantes na fase final da pesquisa

(continua)

Estudante	NFI e FIPF	FIS
E29	<i>Intra: entre átomos de uma molécula. Inter: entre moléculas. (Dipolo-dipolo: força de London - Ligação de hidrogênio).</i>	<i>A água é polar e o sabão é polar e apolar com isso, o sabão junto com a água vai interagir removendo gordura.</i>
E23	<i>Inter ocorre entre moléculas e intra entre átomos. Intermolecular une uma molécula com outra.</i>	<i>A gordura é removida devido as polaridades das substancias envolvidas.</i>
E11	<i>A diferença é que o intermolecular é entre moléculas e, já o intramolecular é entre os átomos dentro da molécula. Existem 3 forças intermoleculares: dipolo-dipolo: polar; Forças de London: apolar; Ligação Hidrogênio: polar e intensas. Por um fator: diferença de eletronegatividade que as forças intermoleculares afetam as propriedades físicas da molécula. Quanto maior a diferença de eletronegatividade, mais intensa será a interação intermolecular e mais alto será seu P.E. e P.F.</i>	<i>O sabão é apolar como a gordura, tem afinidade, mas a água é polar, mas o sabão vai interagir com os dois.</i>
E19	<i>Intermoleculares é entre os dipolos das moléculas, ou seja, quando duas moléculas se aproximam ocorre uma polarizabilidade que provocam distorções na distribuição da carga elétrica das moléculas, provocando diferentes interações entre elas, como as forças de London, dipolo-dipolo, ligação hidrogênio. E intramoleculares é entre os átomos das moléculas. As propriedades físicas estão relacionadas com a energia necessária para romper as interações entre as moléculas.</i>	<i>A solubilidade da gordura depende das forças de atração das substancias envolvidas. Durante o processo de solubilização da gordura pelo sabão, as interações entre as moléculas de gordura vão se romper e dar lugar as interações entre moléculas gordura-sabão-água.</i>
E14	<i>Intra: interação eletrostática que ocorre com os dipolos das moléculas, esse dipolo pode ser induzido ou permanente. Inter: ocorre com moléculas de um mesmo átomo, ocorrem ligações iônica, metálica e covalente.</i>	<i>O sabão possui uma parte que polar e outra que é apolar, a parte polar, essa parte vai misturar com água e a parte apolar vai dissolver as substâncias gordurosas.</i>
E25	<i>A diferença é que o intermolecular é entre moléculas e, já o intramolecular é entre os átomos dentro da molécula. Existem 3 forças intermoleculares: dipolo-dipolo: polar; Forças de London: apolar; Ligação Hidrogênio: polar e intensas. Por um fator: diferença de eletronegatividade que as forças intermoleculares afetam as propriedades físicas da molécula. Quanto maior a diferença de eletronegatividade, maior a polarizabilidade e mais intensa será a interação intermolecular e mais alto será seu P.E. e P.F.</i>	<i>As moléculas constituintes do sabão interagem entre si por fortes e fracas interações, pois tem uma parte polar e outra apolar. Já a água, suas moléculas estão fortemente unidas por interações fortes, pois é polar. Só a água é improvável remover a gordura, pois a gordura é insolúvel, pois as novas forças que poderiam atuar entre a água e a gordura são fracas e não compensa a dissolução, por isso o sabão é importante na remoção de gorduras.</i>

Quadro 25 – Concepções dos estudantes na fase final da pesquisa

(conclusão)		
Estudante	NFI e FIPF	FIS
E1	<i>Intermolecular: entre moléculas. Intramolecular: entre átomos. London: entre moléculas com eletronegatividade simétrica, vai ser uma interação mais fraca, por isso seu ponto de fusão e ebulição vai ser mais baixa. Dipolo-Dipolo: entre moléculas com eletronegatividade assimétrica, tendo dois polos e sendo uma interação forte com um campo elétrico entre ele; seu ponto de ebulição vai ser mais alto. Hidrogênio: o H vai se ligar no N, O ou F. Como o hidrogênio, a diferença de eletronegatividade entre o hidrogênio e estes átomos é grande, então ao se aproximarem ocorre uma intensa polarização, formando uma carga parcial positiva ao redor do átomo de hidrogênio e cargas parciais negativas no oxigênio, sua interação vai ser muito forte, então seu ponto de ebulição vai ser muito alto. Eles influenciam nas propriedades físicas porque a intensidade das forças age de maneira diferente.</i>	<i>A polaridade que tem na molécula do sabão induz a polarização da água e ocorre a dissolução, o mesmo ocorre para uma parte apolar do sabão que distorce a nuvem eletrônica da molécula de gordura, formando um dipolo induzido e dissolvendo a gordura.</i>
E7	<i>Forças intramoleculares é a interação que une os átomos de uma molécula e ela interfere nas características químicas da molécula. Forças intermoleculares é a interação entre as moléculas, ela interfere nas características físicas de uma substância, pode ser dipolo-dipolo, forças de London e Ligação Hidrogênio. A ligação intramolecular pode ser covalente, iônica e metálica, é muito mais forte que a intermolecular.</i>	<i>O sabão tem um papel fundamental na remoção de gorduras, pois ele possui entre si interações fortes e fracas devido uma parte ser polar e outra apolar. A parte apolar é capaz de dissolver a gordura devido a formação de um dipolo induzido entre o sabão e a gordura.</i>

Fonte: Autores.

Observa-se que na fase final, referente às atividades desenvolvidas na unidade didática 1 “Natureza das forças intermoleculares”, houve evolução conceitual significativa em relação aos conceitos abordados. Desta forma, infere-se que essas atividades facilitaram a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes participantes da pesquisa.

É possível pontuar os representantes dos grupos IV e VI, E19 e E25, respectivamente. Esses estudantes, inicialmente possuíam visões equivocadas de características ingênuas associadas ao senso comum e suas explicações eram subjetivas e intuitivas. No decorrer das atividades, começaram a empregar suas ideias com um grau de abstração maior, mesmo sem estabelecer

muitas relações entre os conceitos, suas explicações já continham termos científicos. No entanto, esses termos apresentavam a simples aplicação de regras gerais, advindas de posicionamentos empiristas. Ao final, os estudantes conseguiram expressar concepções científicas mais complexas e inter-relacionadas.

A complexidade das respostas e suas inter-relações podem ser observadas no Quadro 25. Constata-se que os estudantes conseguem diferenciar as forças intermoleculares das ligações químicas e relacionar as propriedades físicas e reações químicas a cada um destes conteúdos, respectivamente. Além disso, empregam termos específicos e complexos, tais como: polarizabilidade, distorção na distribuição da carga elétrica das moléculas, eletronegatividade simétrica e assimétrica, relação entre energia e rompimento das interações, ponto de fusão, ebulição, entre outros. Fica nítido o aumento significativo do poder heurístico dos modelos explicativos dos estudantes participantes da pesquisa, ou seja, observa-se uma sequência de transição progressiva desses modelos.

Dentro de uma perspectiva Lakatosiana, existem critérios para analisar quando um programa de pesquisa se torna progressivo ou degenerativo em comparação com um rival. Para Lakatos (1978), uma vez compreendido a estrutura teórica e empírica de ambos os programas, é comum, por meio destes critérios, que o programa degenerativo ceda seu espaço para o programa rival mais progressivo. Analogamente, em sala de aula, as atividades desenvolvidas nesta pesquisa são uma ferramenta que auxilia no aumento do poder explicativos dos modelos dos estudantes, cedendo espaço para uma evolução conceitual mais progressiva, ou seja, com maior poder heurístico.

Pesquisas desenvolvidas por Laburú et al. (1998) e Laburú e Niaz (2002) apontaram nessa direção ao afirmarem que as concepções alternativas são uma possibilidade de serem classificadas em programas alternativos, as quais competem em termos explicativos, com os rivais que o professor pretende ensinar, definidas como programas científicos. Esse paralelismo foi designado a partir do núcleo do programa (heurística negativa) e pelo cinturão de hipóteses auxiliares (heurística positiva), o que implica seguir o critério de eliminação de teorias proposta por Lakatos. Segundo o autor, uma razão objetiva para a escolha entre programas é proporcionada pela evolução e desenvolvimento do quadro teórico da explicação científica, suplantada por uma demonstração adicional de força heurística. (LAKATOS, 1978). Desta forma, explica-se a evolução conceitual dos 48% dos estudantes participantes da pesquisa, concluindo que as atividades desenvolvidas até o momento favoreceram a transição progressiva de seus modelos explicativos.

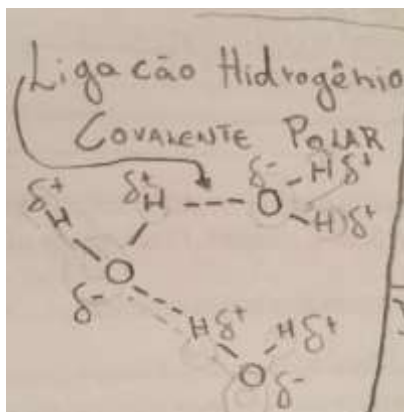
Entretanto, 52% dos estudantes ainda permaneceram com ideias empiristas sobre os fenômenos em estudo. Acredita-se que essas concepções estão tão enraizadas na estrutura cognitiva dos estudantes por que durante anos, o ensino de Química proposto nas escolas, enfatizava uma visão de que para compreender ciências bastava apenas o método da observação e memorização neutra dos fenômenos. Ou seja, para se apropriar do conhecimento científico, seguia-se apenas o método e que esse seria conclusivo para provar teorias.

Pozo e Crespo (2009) defendem que o conhecimento químico deve ser ensinado como um saber histórico e provisório. Além disso, é preciso que os estudantes participem do processo de elaboração e construção do conhecimento científico, transcendendo a visão linear, distorcida e neutra desse conhecimento. Acredita-se que dessa maneira, é possível romper com a visão empirista, simplista, indutiva e ingênua da química, com vistas a superação do senso comum pedagógico que, por anos, é perpetuado nas instituições de ensino brasileiras.

Já em relação a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, fica claro que as atividades desenvolvidas contribuíram de forma efetiva para a transição progressiva dos modelos dos estudantes. Ressalta-se que somente 27% (08) (Grupo III) dos alunos permaneceram com o modelo explicativo macroscópico. Conforme já mencionado, o estudante E11 teve dificuldades em superar sua visão empirista dos fenômenos em estudo, ou seja, suas explicações, tanto no início como no final, estavam apenas baseadas na aplicação de regras gerais, sem muitas relações entre os conceitos. Acredita-se que esse fato está diretamente relacionado com a dificuldade de entender os fenômenos em nível atômico-molecular, uma vez que esta compreensão está vinculada as inter-relações conceituais que o estudante é capaz de se apropriar.

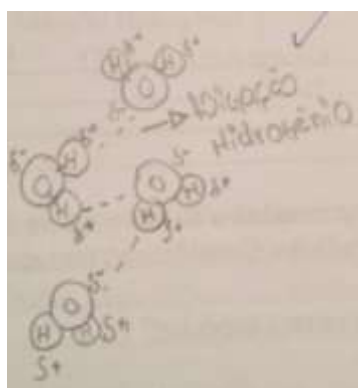
Entretanto 72% dos estudantes conseguiram progredir em seus modelos explicativos. As Figuras 53, 54, 55 e 56 representam os modelos dos estudantes E29, E23, E25 e E1, respectivamente.

Figura 53 – Representação pictográfica do E29 na fase final



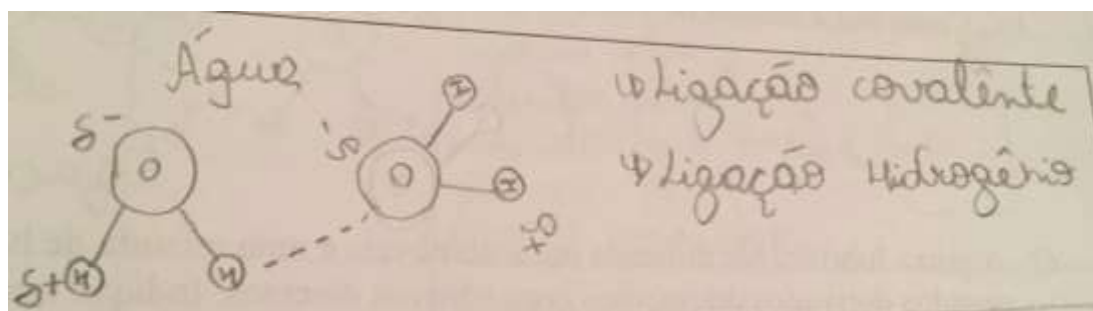
Fonte: Autores.

Figura 54 – Representação pictográfica do E23 na fase final



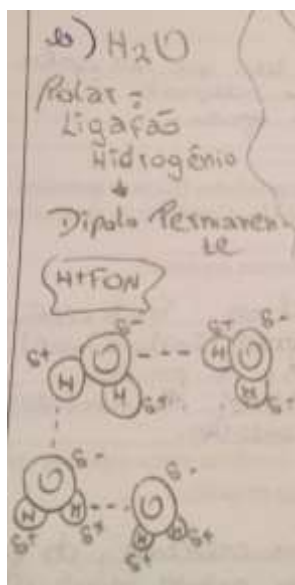
Fonte: Autores.

Figura 55 – Representação pictográfica do E25 na fase final



Fonte: Autores.

Figura 56 – Representação pictográfica do E1 na fase final



Fonte: Autores.

É perceptível a evolução dos modelos explicativos dos estudantes, além de representarem as interações, por meio de modelos aceitos cientificamente, atribuindo corretamente termos específicos da química, também conseguem fazer as devidas distinções entre as forças intermoleculares e as ligações químicas. Conclui-se que o desenvolvimento de atividades que levem em consideração as relações entre os níveis de representação da matéria, contribui para a transição progressiva em relação ao entendimento das forças intermoleculares em nível atômico-molecular.

4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIMENSÃO FORÇAS DE LONDON E DIPOLO-DIPOLO

4.2.1 Processo de categorização inicial –Etapas I e II

- Fase Inicial

Foram analisadas 145 respostas dos estudantes participantes da pesquisa. A categorização inicial, bem como exemplos das respostas dos sujeitos na fase inicial, encontra-se representados no Quadro 26.

Quadro 26 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase inicial da pesquisa

Categoria	Excertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	<ul style="list-style-type: none"> - Não existe diferença nenhuma entre as forças, é tudo força das moléculas. E2 - Dipolo-Dipolo quando existem dois polos. A de London só sei que existe uma cidade. E3 - Dipolo-dipolo é uma interação forte e London é uma cidade. E13 	09	31
Empirista	<ul style="list-style-type: none"> - Dipolo-dipolo é quando a ligação é entre moléculas polares e London quando há a aproximação entre moléculas apolares. E5 - Dipolo-dipolo e forças de London ocorrem em moléculas polares a apolares, respectivamente. E7 - A diferença entre dipolo-dipolo está na polaridade das moléculas. E13 	19	65,5
Racionalista	<ul style="list-style-type: none"> - A diferença entre elas é que a dipolo-dipolo possui assimetria na distribuição de elétrons, ou seja, possui momento dipolar, interações mais intensas e maiores pontos de fusão e ebulição. Já as forças de London possuem simetria na distribuição de elétrons, momento dipolar muito mais fraco e menores pontos de fusão e ebulição quando comparados ao dipolo-dipolo. E10 	01	3,5

Fonte: Autores.

Observa-se em relação as ideias iniciais, quando comparadas à primeira dimensão (55,2 % (16) dos estudantes possuíam concepções realistas), uma significativa evolução conceitual por partes dos estudantes investigados, uma vez que essa porcentagem diminuiu para 31% (09). Infere-se que as atividades desenvolvidas estão contribuindo gradativamente para o aumento do poder heurístico de seus modelos explicativos. Desta forma, no decorrer do desenvolvimento das atividades, percebeu-se que o vocabulário científico explicitado pelos sujeitos está caminhando para a formação de sequências de transição progressiva.

Apesar de 65,5% (19) dos estudantes explicarem seus modelos por meio de aplicação de regras gerais para os fenômenos em estudo, ainda assim percebe-se uma linha tênue entre essas percepções empiristas e ideias mais racionalistas. Mesmo sem desenvolver explicitamente o tópico de forças de London e dipolo-dipolo nesta fase da pesquisa, eles já conseguiram diferenciá-las corretamente, pois nas atividades de pesquisa buscaram os significados desses conceitos. Isso mostra a relevância de atividades que instiguem a participação ativa dos estudantes na construção de seu conhecimento. Além disso, percebeu-

se que ao iniciar um determinado conteúdo, por meio de atividades que estimulem aos estudantes a pensarem autonomamente, também contribuem efetivamente para essa construção.

Esses aspectos corroboram com Souza, Iglesias e Pazin-Filho (2014) ao afirmarem que uma maior interação do aluno no processo de construção do próprio conhecimento é a principal característica da abordagem por metodologias ativas, o que implica a exigência de ações e construções mentais mais elaboradas, como: leitura, pesquisa, comparação, observação, imaginação, criatividade, criticidade, obtenção de dados, elaboração de hipóteses, busca de suposições, construção de sínteses e aplicação de fatos a novas situações.

Isso fica ainda mais evidente na resposta do E10, em que na fase inicial desta parte da pesquisa, já apresentou ideias racionalistas, utilizando termos mais complexos e inter-relações entre os conceitos, tais como: distribuição simétrica e assimétrica de elétrons, momento dipolar e suas relações com o ponto de fusão e ebulição.

- Fase intermediária

Nesta fase pesquisa foram analisadas 145 respostas e sua categorização encontra-se representada no Quadro 27.

Quadro 27 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase intermediária da pesquisa

(continua)

Categoria	Excertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	-	-	-
Empirista	- <i>Esses tipos de forças ocorrem entre substâncias apolares, os elétrons se acumulam em determinado lado, que fica polarizado negativamente e o oposto, positivamente e não existe diferença entre elas. E2</i> - <i>São forças de interação entre moléculas apolares e polares. E13</i> - <i>As interações dipolo-dipolo são forças atrativas entre moléculas que possuem momento dipolar. Sim, uma é apolar e a outra é polar. E20</i>	08	27,5

Quadro 27 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase intermediária da pesquisa

(conclusão)			
Categoria	Enxertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Racionalista	<p>- Dipolo-dipolo possui a natureza dipolo permanente, quando há aproximação de duas moléculas polares ocorre uma polarização, formando um momento dipolar. Já as forças de London possuem natureza dipolo induzido, sendo formadas entre moléculas apolares. E8</p> <p>- As interações dipolo-dipolo são forças atrativas entre moléculas polares, moléculas que apresentam momento dipolar. As forças de London é uma característica de todas as moléculas, entretanto para as moléculas apolares é a única força existente. E27</p> <p>- Dipolo-dipolo é uma interação entre moléculas polares, ou seja, moléculas que apresentam diferença de eletronegatividade. As forças de London são interações intermoleculares presente apenas em moléculas apolares, onde há uma distribuição simétrica de elétrons entre os átomos da molécula.</p>	21	72,5

Fonte: Autores.

Nesta fase da pesquisa é possível observar que houve uma enorme evolução conceitual dos modelos explicativos dos estudantes referentes aos conceitos de forças intermoleculares. Na fase intermediária da unidade didática 1, 58,6% dos estudantes apresentavam concepções empiristas e 34%, concepções racionalistas. Já na fase intermediária da unidade didática 2, o percentual em relação às ideias empiristas diminuiu para 27,5% (8) e para as concepções racionalistas, observa-se uma evolução significativa, o que corresponde percentualmente a um aumento de mais de 50% de estudantes com ideias racionalistas, ou seja, as ideias apresentadas são mais complexas e inter-relacionadas e muitas vezes com grande abstração.

Os estudantes conseguiram definir, conceituar e diferenciar as interações dipolo-dipolo e forças de London, além disso, utilizam termos que são mais complexos e que não são encontrados nos livros didáticos de ensino médio.

Cabe destacar que o livro didático é um importante instrumento, não só de apoio, mas serve como base teórico-metodológico para os professores e de base teórico-científica para os estudantes. Entretanto, alguns estudos (SANTANA, 2008; SCHNETZLER, 2010) consideram que as coleções didáticas ainda não alcançaram a qualidade necessária no que se refere à abordagem teórico-metodológica dos conteúdos e ao tratamento adequado e coerente das concepções de base dessa área de conhecimento. Segundo Cachapuz (2011), o livro didático possui um papel decisivo na formação das concepções de ciência entre estudantes e

professores. Caldas e Saltiel (2001) também concordam com essas ideias, afirmando a relevância do papel desempenhado pelos livros didáticos no processo de aquisição do conhecimento. Os autores ainda ressaltam que a utilização do LD pode contribuir negativamente para a formação de concepções do senso comum.

Esses aspectos são evidenciados, principalmente, quando se observa as respostas dos estudantes investigados no início da pesquisa, em que a maioria das respostas estavam impregnadas com concepções do senso comum e aplicações de regras gerais. O livro deve sim ser utilizado pelos professores, no entanto não como o único recurso disponível. Além disso, é preciso ter atenção quanto à abordagem conceitual e metodológica empregada nos livros didáticos.

Em relação aos aspectos mencionados acima, Tiedemann (2006) discute os problemas encontrados nos livros didáticos de Química do ensino médio. Muitos conteúdos, como ligações químicas e forças intermoleculares, envolvem apenas a memorização, contribuindo cada vez mais com a passividade dos estudantes no processo educativo. Neste trabalho também são apontados diversos equívocos conceituais, comuns em LD, que criam obstáculos à aprendizagem.

O autor afirma que os conteúdos de química apresentados nos LD analisados, não coincidem com a atual demanda do ensino voltado para a abordagem no cotidiano. Os livros deveriam priorizar um enfoque aos fenômenos químicos presentes no dia a dia para favorecer com que o aluno desenvolvesse sua curiosidade científica. Além disso, segundo o autor, a aprendizagem é dificultada pelo uso inadequado de metáforas e analogias que os LD utilizam para efetuar a transposição didática do conhecimento científico, muitas vezes deturpando a cientificidade dos fenômenos.

Com relação aos problemas conceituais presentes nos LD de química, o autor enumera uma série de conteúdos com equívocos na parte conceitual. Em específico, aos conteúdos de interações intermoleculares, apresenta equívocos na conceituação dos estados físicos e transformações físicas.

O estado sólido, por exemplo, é definido como um fenômeno em que as forças de atração são maiores que as de repulsão. Segundo autor, se isso fosse verdade, as moléculas chegariam cada vez mais perto umas das outras, até as forças de repulsão se tornarem iguais a de atração. Em todos os estados físicos, em média, as forças de atração são iguais às de repulsão; caso contrário, o sistema não seria estável. Argumenta ainda que é complicado definir os estados físicos em termos de forças, pois existem situações diversas em cada estado. Por exemplo, num sólido, as moléculas mantêm-se unidas pelo efeito cooperativo de várias

moléculas, enquanto num gás, a baixa pressão, é razoável considerar apenas forças de interação bi molecular, isto é, entre duas moléculas. Uma maneira mais correta de conceituar os estados físicos é por meio da energia envolvida nas moléculas. Uma substância ao sofrer uma transformação física ao passar de um estado para outro, como por exemplo, de sólido a líquido e a gás, é preciso o fornecimento de energia. A energia das moléculas é maior no estado líquido do que no estado sólido e maior no estado gasoso do que no estado líquido, para uma mesma substância.

Além disso, os livros explicam, de maneira curiosa, que as substâncias formadas por moléculas maiores e de maior massa possuem ponto de ebulição maior que as substâncias formadas por moléculas de menor massa, afirmando que este fenômeno ocorre devido à presença da força de atração gravitacional maior a que estão sujeitas as moléculas maiores. Isto não é correto, uma vez que as forças de atração gravitacionais são desprezíveis quando comparadas com as forças intermoleculares.

Enfim, ressalta-se que essa discussão é apenas um alerta em relação aos problemas de cunho conceitual, metodológico e sobre as visões de ciência apresentados nos livros didáticos, conforme discutido acima.

- Fase final

Nesta fase da pesquisa, foram analisadas 87 respostas dos estudantes. O Quadro 28 apresenta o resultado da categorização para a fase final da segunda dimensão, referente à unidade didática 2.

Quadro 28 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase final da pesquisa

(continua)

Categoria	Exertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	-	-	-
Empirista	- <i>As diferenças estão na polaridade das moléculas. E2</i> - <i>Dipolo-dipolo é a interação entre moléculas polares e a London é a interação entre moléculas apolares, a diferença é a polaridade. E13</i> - <i>Dipolo-dipolo ocorre entre moléculas polares e a London entre apolares. E19</i>	09	31

Quadro 28 – Categorização das respostas para a dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo na fase final da pesquisa

(conclusão)

Categoria	Exertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Racionalista	<p>- Nas forças de London ocorre quando duas moléculas apolares se aproximam e forma um dipolo instantâneo. Entre as forças intermoleculares é a mais fraca. Já a força dipolo-dipolo ocorre quando há aproximação de duas moléculas polares, formando momento dipolar com cargas parciais positivas e negativas.</p> <p>- A principal diferença entre essas forças é a natureza delas. Dipolo-dipolo forma um dipolo permanente, devido a diferença de eletronegatividade que existe entre os átomos da molécula. Já as forças de London formam um dipolo instantâneo, pois na aproximação de duas moléculas apolares há distribuição simétrica de elétrons. E7</p> <p>- Dipolo-dipolo ocorre entre moléculas polares, pois apresentam em sua estrutura molecular diferença de eletronegatividade entre os átomos da molécula, então ao se atraírem, há a formação de um dipolo permanente, sendo essa a natureza dessa interação. Forças de London possui natureza dipolo instantâneo E14</p>	20	69

*Natureza das forças intermoleculares (NFI), a relação entre essas forças e as propriedades físicas (FIPF) e a solubilidade (FIS)

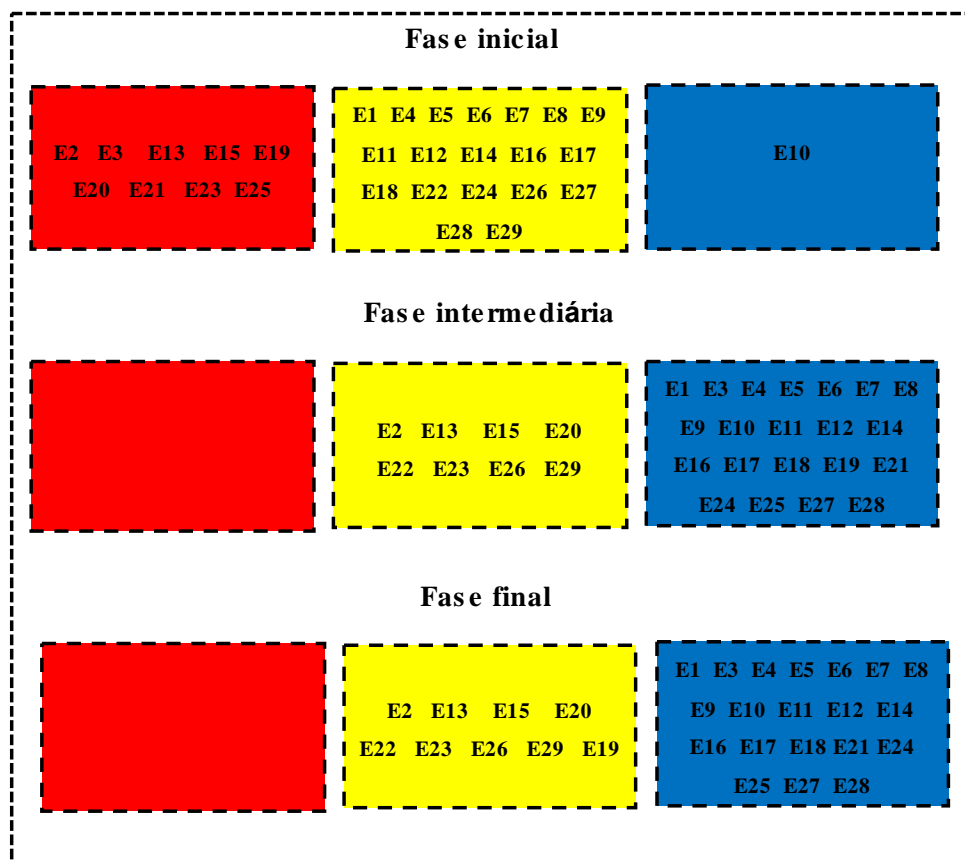
Fonte: Autores.

A partir da análise do Quadro 28, é possível inferir que o desenvolvimento das atividades contribuiu significativamente para a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes participantes da pesquisa. Na fase final da primeira dimensão (Quadro 23) observa-se que 52% dos estudantes permaneceram com ideias empiristas, já nessa dimensão houve um decréscimo para 31%. Mesmo com o desenvolvimento das atividades da unidade didática 2, nove estudantes ainda não conseguiram superar visões impregnadas de termos oriundos de observações neutras e aplicações de regras gerais. É nítido que muitos estudantes durante o processo de escolarização não foram estimulados a pensar sobre o fenômeno em estudo, mas sim em memorizar e decorar os conceitos, sem estabelecer relações entre eles. Desta forma, a visão empírica está tão enraizada que o processo de desconstrução dessas ideias fica mais intrincada e difícil de ser superada.

Em contrapartida, nesta fase da pesquisa, observa-se que 69% dos estudantes já conseguem apresentar explicações científicas sobre os fenômenos em estudo, explicitando ideias mais complexas e inter-relacionadas.

Nesse sentido, a Figura 57 apresenta a evolução conceitual dos sujeitos nas três fases da pesquisa.

Figura 57 – Classificação dos estudantes por zona filosófica nas três fases da pesquisa referente à segunda dimensão



Legenda:

Realismo		Empirismo		Racionalismo	
-----------------	--	------------------	--	---------------------	--

Fonte: Autores.

A Figura 57 representa uma visão global da evolução conceitual por parte dos estudantes investigados. Infere-se, conforme mencionado, que as atividades desenvolvidas durante a unidade didática 2 contribuíram com a transição progressiva de seus modelos explicativos, ou seja, gradativamente, aumentaram o poder heurístico de suas explicações.

Comprova-se esses fatos quando se observa a Figura 58, em que inicialmente, nove estudantes expressaram suas ideias, por meio de modelos com concepções realistas, 19

estudantes expressaram suas ideias com base em concepções empiristas e um estudante apresentou ideias racionalistas. Ressalta-se que já na fase inicial a maioria dos estudantes começa a empregar termos científicos, mesmo que sejam derivados diretamente da observação neutra ou de dados experimentais comprovados, o que implica uma evolução conceitual e indícios de abandono de ideias associadas ao senso comum.

Essa evolução é ainda mais acentuada nas fases intermediária e final da segunda dimensão. Em relação a fase intermediária, nenhum estudante apresentou ideias realistas, oito estudantes permaneceram com visões empiristas e 21 estudantes apresentaram suas concepções, por meio de modelos explicativos racionalistas. Na fase final, os resultados foram semelhantes, demonstrando que os estudantes conseguiram aumentar progressivamente a complexidade conceitual sobre o conteúdo de forças intermoleculares.

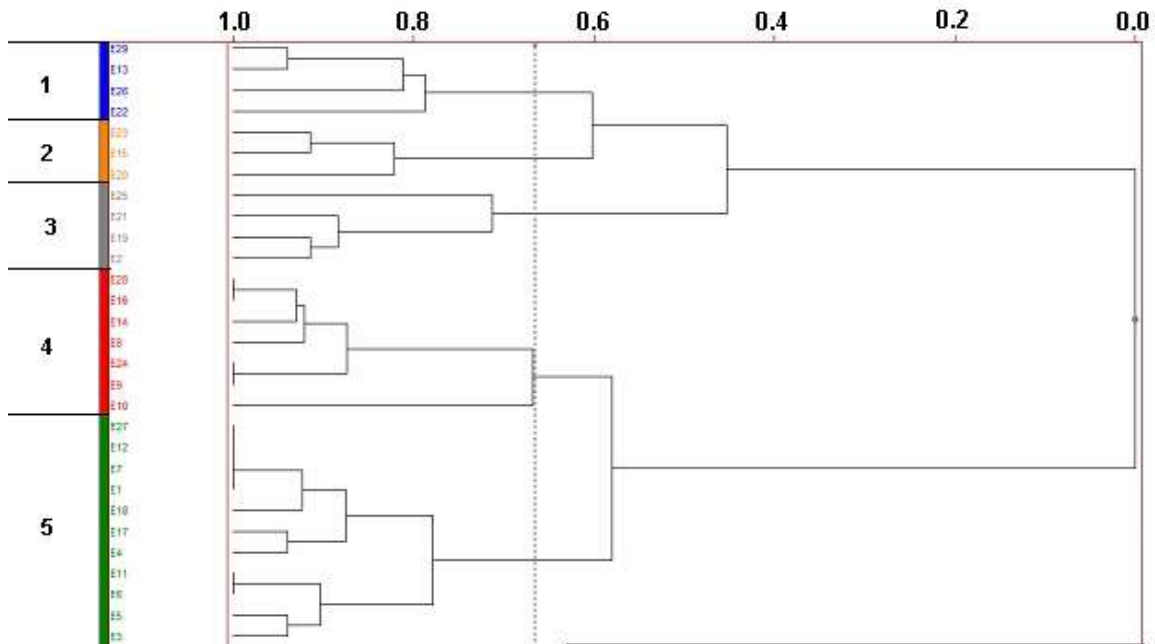
A seguir será apresentado as sequências de transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes por grupo de similaridades.

III Etapa

A partir dos dados analisados nas etapas I e II, utilizou-se o método HCA para agrupar os estudantes com respostas similares. Conforme mencionado, esse método foi utilizado para potencializar as discussões sobre a sequências de transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes, uma vez que as respostas são similares. Salienta-se que compreendemos que nenhum estudante expressa suas ideias de forma igual, entretanto o HCA reconhece padrões naturais entre as respostas, o que contribui para diminuir a extensão das discussões e obter uma visão pontual da evolução conceitual sobre o tópico em estudo.

O dendrograma obtido a partir da HCA está representado na Figura 58. Os ramos do Dendrograma indicam cinco grupos de alunos (I-V) com 65,5% (0,655) de similaridade.

Figura 58 – Dendrograma obtido a partir da HCA para a segunda dimensão



Dendrograma obtido a partir da HCA utilizado o método Ward/Incremental e a distância Euclidiana.

Fonte: Autores.

A Tabela 8 apresenta o agrupamento de estudantes com respostas similares, bem como o sujeito escolhido para descrever o desenvolvimento da sequência de transição progressiva dos modelos explicativos.

Tabela 8 – Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva

	Estudantes	Transição progressiva
Grupo I	E29 E13 E26 E22	E29
Grupo II	E23 E15 E20	E20
Grupo III	E25 E21 E19 E2	E25
Grupo IV	E28 E16 E14 E9 E10	E14
Grupo V	E27 E12 E7 E1 E18 E17 E4 E11 E6 E5 E3	E1

Fonte: Autores.

A seguir serão desenvolvidas as sequências de transição progressiva dos estudantes mencionados na Tabela 8.

4.2.2 Transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes para a dimensão dipolo-dipolo e forças de London

Etapa IV

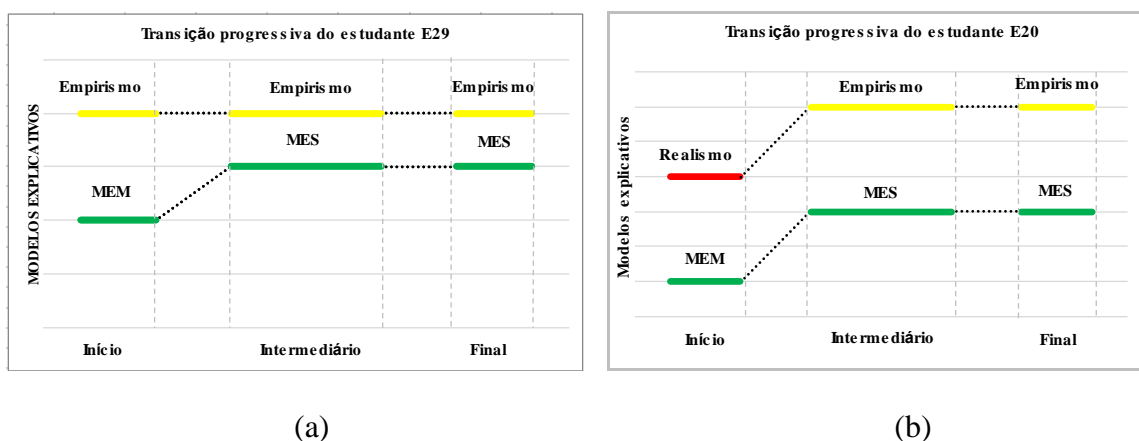
Para essa dimensão considerou-se relevante analisar a evolução conceitual nas três fases da pesquisa dos seguintes conceitos:

- ✓ Conceituação das forças de London e dipolo-dipolo;
- ✓ Diferenças dos pontos de fusão para moléculas unidas por interações de London e dipolo-dipolo;
- ✓ Explicação dos fenômenos pelos níveis de representação da matéria.

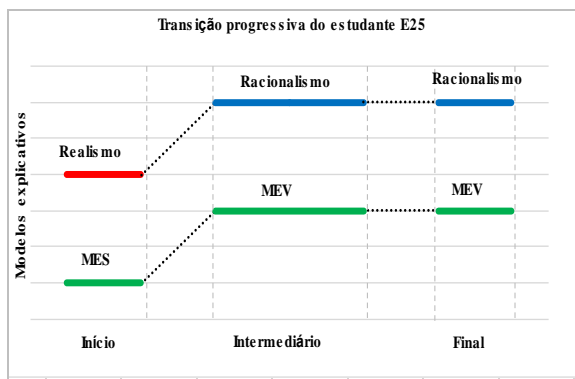
Análise da transição progressiva dos estudantes na dimensão forças de London e dipolo-dipolo nas três fases da pesquisa.

A Figura 59 representa os gráficos que apresentam a evolução dos modelos explicativos dos estudantes E29, E20, E25, E14 e E1, (representantes dos grupos especificados na Tabela 8), respectivamente.

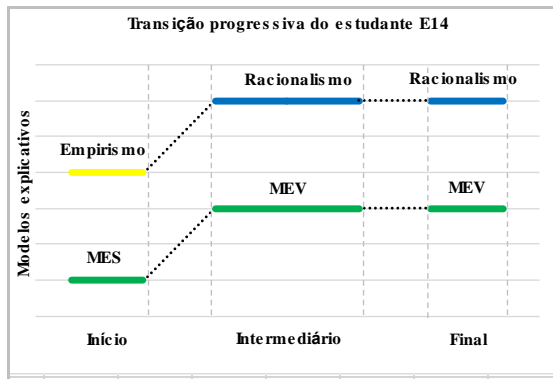
Figura 59 – Transição progressiva dos estudantes E29, E20, E25, E14 e E1 nas três fases da pesquisa.



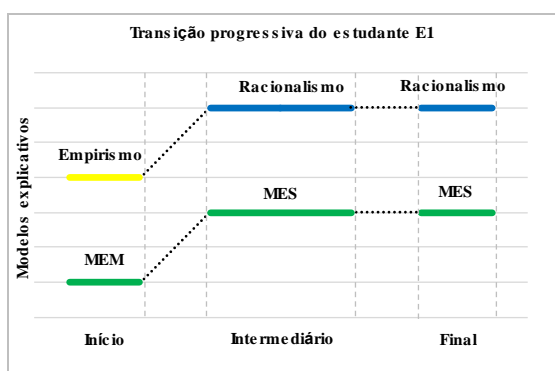
Fonte: Autores.



(c)



(d)



(e)

Fonte: Autores.

Infere-se, de forma geral, que as atividades desenvolvidas na unidade didática 2 referentes à dimensão forças de London e dipolo-dipolo, auxiliaram a maioria dos estudantes na formação de sequências progressivas de seus modelos explicativos. Ou seja, conseguiram evoluir conceitualmente durante as fases da pesquisa.

Embora os estudantes E29 e E20 (representantes do grupo I e II), ainda apresentem concepções na zona empirista durante as fases intermediária e final da pesquisa. Esse grupo de estudantes ainda insistem que as forças de London e dipolo-dipolo são simplesmente interações entre moléculas apolares e polares, respectivamente, não conseguiram estabelecer relações entre os conceitos e nem aumentar a complexidade de suas explicações.

Já os estudantes E25, E14 e E1 (representantes dos Grupos III, IV e V) conseguiram evoluir conceitualmente e formar sequências de transição progressiva. Inicialmente, possuíam concepções sobre forças intermoleculares dentro de uma perspectiva realista e empirista e no decorrer do desenvolvimento das atividades foram aumentando o poder heurístico de seus modelos, evoluindo para ideias racionalistas.

Em relação aos modelos pictográficos de representação da matéria, nota-se que todos os estudantes conseguiram representar os fenômenos, por meio de entidades do mundo submicroscópico e, além disso, os estudantes E25 e E14 ainda conseguiram fazer relações entre o nível atômico-molecular e macroscópico. Infere-se que as atividades favoreceram formação de sequências de transição progressiva.

A seguir será analisada a evolução conceitual sobre as forças de London e dipolo-dipolo (FLDD), a relação entre essas forças e o ponto fusão (RFPF) por fase da pesquisa, bem como a análise da capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria.

- Fase inicial

O Quadro 29 apresenta os modelos explicativos dos estudantes na fase inicial da pesquisa referente a dimensão forças de London e dipolo-dipolo.

Quadro 29 – Modelos explicativos estudantes na fase inicial da pesquisa

Est	FLDD	RFPF
E29	<i>São forças entre as moléculas que dependem da polaridade que existem entre elas.</i>	<i>Os pontos de fusão são diferentes pois as forças que atuam em cada substância são diferentes.</i>
E20	<i>Como se fossem as interações de uma mesma cidade. Cada cidade tem uma força, assim como as moléculas.</i>	<i>Certas moléculas possuem origem permanente e induzida, para separar uma força permanente precisa de grande quantidade de energia e induzida uma baixa quantidade de energia.</i>
E25	<i>Eu sei que London é uma cidade.</i>	<i>As moléculas que possuem ponto de fusão alto são polares e as moléculas com baixos pontos de fusão são apolares.</i>
E14	<i>Dipolo-dipolo são interações eletrostáticas entre moléculas polares e London entre moléculas apolares.</i>	<i>As que tem o ponto de fusão mais alto são polares e possuem dipolos permanentes. Os que tem ponto de fusão mais baixo, são moléculas apolares, então são dipolos induzidos.</i>
E1	<i>As interações são definidas pelas polaridades das moléculas.</i>	<i>As interações que possuem dipolo induzido possuem pontos de fusão mais baixos quando comparados com as que possuem dipolo permanente.</i>

Fonte: Autores.

Observa-se que os representantes dos grupos II e III, estudantes E20 e E25, respectivamente, representam suas ideias associadas ao senso comum para enunciar os

conceitos que lhe são propostos. Acredita-se que essa constatação deve ser um alerta sobre a linguagem química abordada, pois alguns termos promovem confusões e são potencialmente geradores de concepções alternativas.

Esses aspectos corroboram com o trabalho desenvolvido por Medina et al (2010), “*A influência da linguagem química empregada nos livros didáticos na compreensão e resoluções dos exercícios sobre “Interações Intermoleculares”*”, discute a influência da linguagem química empregada na abordagem do conteúdo de interações intermoleculares para a formação de conceitos químicos, por meio da análise de diferentes questões de provas de vestibular propostas nos LD.

Os autores evidenciam a necessidade de analisar o conteúdo de interações intermoleculares, procurando estabelecer a relação da linguagem química no processo de ensino e aprendizagem. Para avaliar o emprego e a adequação dessa linguagem, foram analisados a diversidade de termos empregados para explicar este conteúdo, tanto em livros do ensino médio quanto de nível superior.

A primeira inadequação, segundo os autores, é em relação ao título dos capítulos, apresentando diversificadas denominações, tais como: forças intermoleculares, interações intermoleculares e ligações intermoleculares. Os autores afirmam que essa diversidade de termos, apesar de possuírem valores semânticos semelhantes, pode causar confusão entre os conteúdos. Em relação à expressão ligação intermolecular, os autores afirmam que é um obstáculo a aprendizagem, pois o estudante pode vincular a “ligação intermolecular” à ligação intramolecular. Na ligação química ocorrem transformações na estrutura eletrônica dos átomos, formando novos compostos. Desta forma, bem diferente do que ocorre em uma interação química.

Os autores afirmam que os termos utilizados nos títulos dos livros são inadequados e sugerem a utilização do termo interações interpartículas, pois o termo interpartículas pode se referir às moléculas, átomos ou íons. Considera-se, neste caso, a interação entre partículas constituintes de uma mesma substância, sem que haja modificação em sua estrutura eletrônica.

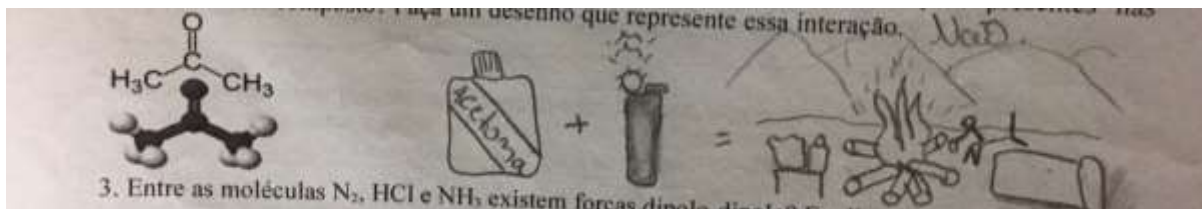
Medina et al, (2010) destacam ainda, que a análise dos LD possibilitou identificar uma grande diversidade de denominações para um tipo específico de interação. Para os autores, isto influencia na compreensão do fenômeno e na avaliação do professor quanto ao entendimento químico adquirido pelo estudante. Sugere-se a padronização dos termos nas denominações dos tipos de interações para que as terminologias não sejam um obstáculo no entendimento da forma que ocorre às interações. Os autores concluem a pesquisa, sugerindo a

formação de grupos de professores universitários em conjunto com a educação básica para revisão e reformulação da linguagem química empregada nos livros, e consequentemente nos enunciados das questões de vestibulares.

Já os estudantes E29, E14 e E1 (representantes dos grupos I, IV e V) iniciam essa fase, utilizando termos científicos, mesmo que sem relações entre os conceitos. Observa-se que as atividades desenvolvidas na unidade didática 1 (natureza das forças intermoleculares) tiveram influência em suas respostas. Ao explicarem a relação entre as forças intermoleculares e o ponto de fusão, nota-se que seus modelos explicativos se baseiam na natureza dessas interações, mesmo sem denominar a referida força à sua natureza, conseguem empregar corretamente e de forma geral os termos utilizados.

Na fase inicial da pesquisa, em relação à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, observa-se que os estudantes E29, E20 e E1 apresentaram suas representações apenas com características observáveis, simplesmente com descrições dos fenômenos em estudo, conforme representado na Figura 60.

Figura 60 – Representação pictográfica do E20 na fase inicial da segunda dimensão pesquisa

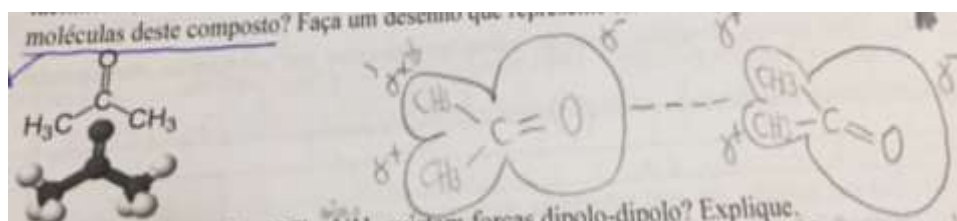


Fonte: Autores.

Acredita-se que essa representação esteja relacionada com o enunciado da questão, em que dizia que a acetona evapora facilmente e é um líquido inflamável. Reitera-se a importância de conhecer as concepções e os modelos mentais dos estudantes, pois as imagens desempenham um importante papel no ensino de Química, uma vez que a própria conceituação muitas vezes depende da visualização (JOHNSTONE, 2004). É importante criar situações reais para mostrar o universo macroscópico ao estudante, entretanto, de nada adiantará se essas situações não tiverem acompanhadas de explicações no nível molecular.

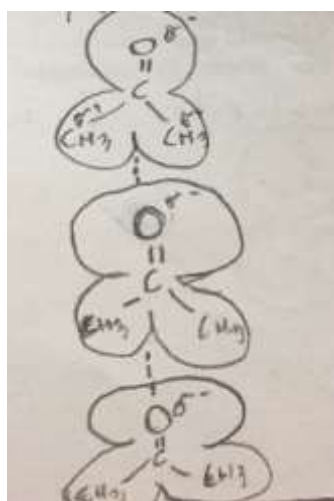
Já os estudantes E25 e E14, nessa fase da pesquisa, conseguiram expressar seus modelos em nível atômico-molecular, conforme representado nas Figuras 61 e 62.

Figura 61 – Representação pictográfica do E25 na fase inicial da segunda dimensão pesquisa



Fonte: Autores.

Figura 62 – Representação pictográfica do E14 na fase inicial da segunda dimensão pesquisa



Fonte: Autores.

É possível observar que esses estudantes conseguem expressar seus modelos, por meio de termos específicos da química do mundo submicroscópico. Mesmo sendo uma molécula mais complexa, em que dificilmente estudam na primeira série do ensino médio, anunciam de forma correta a interação que ocorre na molécula de acetona.

De acordo com Rocha (2001), em uma molécula composta de átomos com diferentes eletronegatividades, os átomos com menor eletronegatividade ficam com cargas parciais positivas, e os átomos com maior eletronegatividade ficam com cargas parciais negativas. O resultado disto é que ocorrerá uma polarização que refletirá na maneira como a molécula interagirá. Uma vez que o oxigênio é mais eletronegativo que o átomo de carbono, a ligação C=O exibirá um dipolo elétrico μ , com os elétrons tendendo a serem mais atraídos pelo oxigênio. Portanto, a ligação C=O terá uma carga parcial negativa (δ^-) no oxigênio e uma carga parcial positiva no carbono (δ^+).

Isso mostra que os estudantes conseguiram compreender importantes conceitos submicroscópicos. Desta forma, progressivamente estão evoluindo conceitualmente e compreendendo a química em todos os níveis representacionais.

- Fase Intermediária

O Quadro 30 apresenta os modelos explicativos dos estudantes na fase intermediária da pesquisa.

Quadro 30 – Modelos explicativos dos estudantes na fase intermediária da pesquisa

Estudante	FLDD	RFPF
E29	<i>Dipolo-dipolo é para moléculas polares, London é para moléculas apolares, é a única força existente.</i>	<i>Quanto maior raio maior a polarizabilidade e maior o ponto de fusão e ebulição.</i>
E20	<i>Uma é para moléculas apolares e a outra para moléculas polares.</i>	<i>Quando o raio atômico for maior, maior a intensidade e a polarizabilidade, então os pontos de fusão e ebulição serão mais intensos nesses casos.</i>
E25	<i>A interação dipolo-dipolo é uma força de atração entre moléculas polares, moléculas que possuem momento dipolar. A natureza da força dipolo-dipolo é o dipolo permanente, formando cargas parciais negativas no átomo mais eletronegativo e cargas parciais positivas no átomo menos eletronegativo. A força de London ocorre entre moléculas apolares, que formam dipolos instantâneos quando se aproximam.</i>	<i>A molécula de I₂ apresenta um alto ponto de fusão por conta do raio atômico quando comparado com Cl₂ (ambas forças de London). Quanto maior o raio atômico, maior a polarizabilidade e consequentemente mais intensa a força atrativa entre as moléculas.</i>
E14	<i>Dipolo-dipolo ocorre entre moléculas polares, pois apresentam em sua estrutura molecular diferença de eletronegatividade entre os átomos da molécula, então ao se atraírem, há a formação de um dipolo permanente, sendo essa a natureza dessa interação. Forças de London possui natureza dipolo instantâneo</i>	<i>As diferenças do ponto de fusão dessas substâncias ocorrem pela polarizabilidade formada quando as moléculas se aproximam, que está diretamente ligada ao raio atômico. Quanto maior o raio atômico, maior a polarizabilidade, influenciando o alto ponto de fusão.</i>
E1	<i>Interação dipolo-dipolo possui natureza um dipolo permanente, é uma interação forte que ocorre entre moléculas polares (átomos da molécula com diferença de eletronegatividade). Forças de London é uma interação mais fraca que ocorre momentaneamente entre moléculas apolares (distribuição simétrica de elétrons).</i>	<i>O alto ponto de fusão do iodo pode ser explicado pelo raio atômico dessa molécula, quanto maior o raio atômico, maior a polarizabilidade e mais intensas são as forças de atração entre as moléculas.</i>

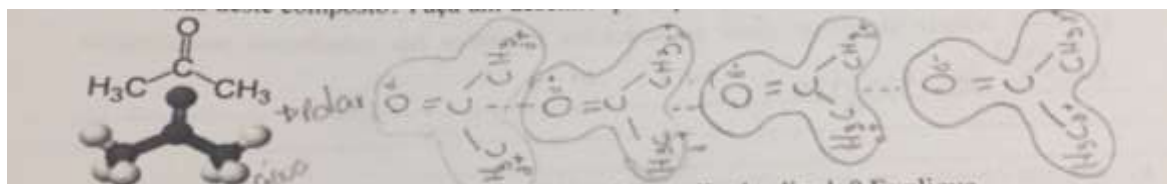
Fonte: Autores.

Nessa fase da pesquisa, já é perceptível que as atividades vêm contribuindo com transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes. Os estudantes E25, E14 e E1 já expressam suas ideias dentro de uma perspectiva racionalista, apresentando coerência e complexidade científicas na explicação dos conceitos. Conseguiram relacionar corretamente à natureza à sua respectiva força atrativa e, além disso, ao compararem a intensidade das interações das substâncias, por exemplo as que interagem por forças de London, tais como o cloro (Cl_2) e o Iodo (I_2), conseguiram explicar coerentemente as diferenças do ponto de fusão pela polarizabilidade e raio atômico, inter-relacionando os conceitos.

Sabe-se que a polarizabilidade está associada à capacidade de distorção da nuvem eletrônica de um átomo, íon ou molécula. Quanto maior o tamanho da nuvem eletrônica mais polarizável será a espécie. Desta forma, quanto maior o raio atômico, mais facilmente são formados dipolos instantâneos, aumentando a força de interação de London, o que pode explicar a variação nos pontos de fusão e ebulição dos halogênios, por exemplo.

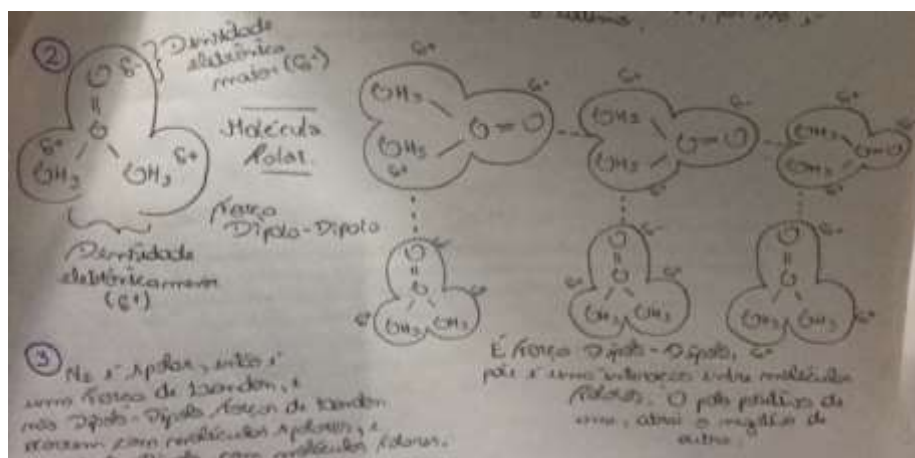
Compreender os aspectos supracitados desenvolve o pensamento químico e favorece o entendimento dos fenômenos em nível atômico-molecular. Isso pode ser nitidamente observado pelos resultados em relação à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. Nesta fase da pesquisa, todos os estudantes conseguiram expressar seus modelos, por meio de aspectos submicroscópicos. Além disso os representantes dos grupos III e IV, estudantes E25 e E14 forneceram informações que vincularam os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico. A compreensão e interligação entre estas três interfaces pressupõem o verdadeiro entendimento e o domínio do conhecimento químico em questão. As Figuras 63, 64 e 65 apresentam a representação desse entendimento.

Figura 63 – Representação pictográfica do E20 na fase intermediária da segunda dimensão pesquisa



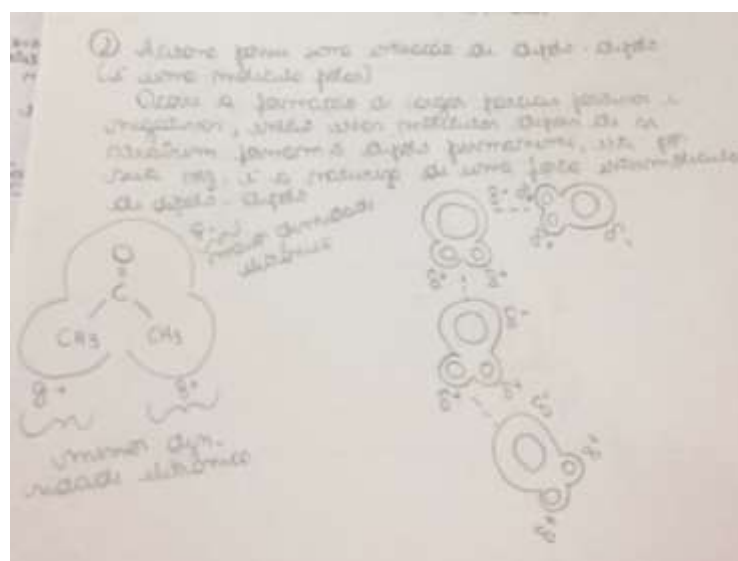
Fonte: Autores.

Figura 64 – Representação pictográfica do E14 na fase intermediária da segunda dimensão pesquisa



Fonte: Autores.

Figura 65 – Representação pictográfica do E25 na fase intermediária da segunda dimensão pesquisa



Fonte: Autores.

É nítido que existem indícios que as atividades vêm contribuindo com a transição progressiva dos modelos explicativos e pictográficos dos estudantes participantes da pesquisa. Antes do início do desenvolvimento das atividades, constatou-se que a maioria dos estudantes apresentava explicações macroscópicas relativas ao conceito de forças intermoleculares, revelando que seus modelos sofriam forte influência dos aspectos perceptíveis e das experiências que vivenciavam. Não é fácil ultrapassar a barreira do observável, entretanto, é dever do professor priorizar um ensino de Química que leve em consideração todos os níveis

de representação da matéria, com vistas a ativação dos esquemas de cognição em graus mais complexos de entendimento.

- Fase final

O Quadro 31 apresenta os modelos explicativos dos estudantes na fase final da segunda dimensão da pesquisa.

Quadro 31 – Modelos explicativos dos estudantes na final da pesquisa

Estudante	FLDD	RFPF
E29	<i>Forças de London é a interação entre moléculas apolares e dipolo-dipolo entre moléculas polares.</i>	<i>O ponto de fusão cresce de acordo com o raio atômico, pois quanto maior o raio atômico maior a força de interação, com isso maior o ponto de fusão.</i>
E20	<i>As diferenças entre elas estão na polaridade das moléculas.</i>	<i>Quanto maior o raio atômico maior o ponto de fusão e ebulição.</i>
E25	<i>A interação dipolo-dipolo é uma força de atração entre moléculas polares com distribuição assimétrica de elétrons. A natureza da força dipolo-dipolo é o dipolo permanente, formando cargas parciais negativas no átomo mais eletronegativo e cargas parciais positivas no átomo menos eletronegativo. A força de London ocorre entre moléculas apolares, quando moléculas apolares interagem, o contato de uma molécula com a outra faz com que apareça uma força atrativa muito fraca que pode ser vista como uma interação de origem dipolo induzido.</i>	<i>Quanto maior o raio atômico, maior a polarizabilidade e conseqüentemente mais intensa a força atrativa entre as moléculas.</i>
E14	<i>Dipolo-dipolo e forças de London são interações entre moléculas. A diferença está na distorção da nuvem eletrônica. Na dipolo-dipolo, por haver diferença de eletronegatividade entre os átomos da molécula, formará uma distribuição desigual de elétrons, formando um dipolo permanente. Na interação de London ocorre mais fraco por não haver diferença de eletronegatividade entre os átomos da molécula, a distribuição de elétrons é simétrica, formando um dipolo induzido.</i>	<i>As diferenças do ponto de fusão dessas substâncias ocorrem pela polarizabilidade formada quando as moléculas se aproximam, que está diretamente ligada ao raio atômico. Quanto maior o raio atômico, maior a polarizabilidade, influenciando o alto ponto de fusão.</i>
E1	<i>Interação dipolo-dipolo possui natureza um dipolo permanente, é uma interação forte que ocorre entre moléculas polares Forças de London é uma interação mais fraca que ocorre momentaneamente entre moléculas apolares (distribuição simétrica de elétrons).</i>	<i>O alto ponto de fusão do iodo pode ser explicado pelo raio atômico dessa molécula, quanto maior o raio atômico, maior a polarizabilidade e mais intensas são as forças de atração entre as moléculas.</i>

Fonte: Autores.

Ao final da segunda dimensão percebe-se que a maioria dos estudantes (20) conseguiu evoluir conceitualmente. Foi perceptível que eles compreenderam que uma interação dipolo-dipolo, por exemplo, ocorre entre moléculas constituídas de átomos diferentes, em que os elétrons não são compartilhados de maneira simétrica, apresentando momento de dipolo elétrico (μ) e formando dipolo permanente. Desta forma, quando próximas umas das outras, as moléculas se atraem mutuamente através das cargas parciais de sinais contrários localizadas em cada molécula. Além disso, compreenderam as forças de London e a influência dessas interações nas propriedades físicas.

Entretanto, detectou-se que um grupo de estudantes ainda permaneceu com ideias empiristas, não conseguindo formar sequências de transição progressiva de seus modelos explicativos, ou seja, não houve significativa evolução conceitual durante as fases da pesquisa, conforme observa-se nos representantes dos grupos I e II, E29 e E20, respectivamente.

Os aspectos supracitados foram averiguados durante a discussão dessa seção, em que foram abordados temas importantes que pudessem nortear as causas para as dificuldades de aprendizagem e resistência a mudanças conceituais. Autores, como Villani (1992), Duschl e Gitomer (1991) estudaram a filosofia da ciência para afirmar o caráter gradual e evolucionário das mudanças conceituais, em contraposição à imagem de mudanças radicais propostas por uma filosofia embasada nos pressupostos kuhnianos. Cuidadosos em relação às transposições da filosofia da ciência para a compreensão do processo de aprendizagem em sala de aula, os autores destacam informações importantes a respeito da resistência dos estudantes a mudanças.

Villani (1992) defende que empirismo ainda está enraizado na prática docente e nos materiais didáticos utilizados na educação básica. A concepção empirista continua sendo adotada pelos professores, sendo fortemente inspirados nos trabalhos de Sir Francis Bacon, em que propôs um método empirista-indutivo. Desta forma, conhecimento provado é conhecimento absoluto e, portanto, inquestionável, o que implica a aplicação exacerbada de regras gerais para os conceitos em estudo.

Diante disso, o referido autor defende que a aprendizagem efetiva em ciências envolve um processo lento de mudanças que deve dirigir-se não apenas para a assimilação de conceitos, mas principalmente para novos modos de raciocínio, demandas epistemológicas e valores cognitivos.

Em relação a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, observou-se que os estudantes conseguiram representar seus modelos pictográficos, por meio

de esquemas mais complexos, inter-relacionados e submicroscópicos, conforme já mencionado na fase intermediária. Diante dos resultados apresentados até o momento, infere-se que as atividades contribuíram com a transição progressiva dos modelos explicativos da maioria dos estudantes investigados.

A seguir serão apresentados os resultados da terceira e última dimensão, correspondentes as atividades desenvolvidas na unidade didática 3.

4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA DIMENSÃO LIGAÇÃO HIDROGÊNIO.

4.3.1 Processo de categorização inicial – Etapas I e II

- Fase inicial

Foram analisadas 145 respostas e a categorização inicial, bem como enxertos das respostas que representam as categorias na fase inicial, encontra-se representada no Quadro 32.

Quadro 32 – Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase inicial da pesquisa

Categoria	Enxertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	- <i>Tudo que tem hidrogênio. E5</i>	01	3,4
Empirista	- <i>É a ligação em que o hidrogênio se liga com nitrogênio, flúor e oxigênio. E12</i> - <i>Interação entre os dipolos, onde o hidrogênio é positivo e se liga a F, O, N. E9</i>	25	86,2
Racionalista	- <i>É uma interação eletrostática forte entre o hidrogênio e átomos muito eletronegativos, como flúor, oxigênio e nitrogênio. Assim, tem interações muito intensas por ter um átomo (hidrogênio) com baixa densidade eletrônica interagindo com átomos com alta densidade eletrônica. E10</i>	03	10,4

Fonte: Autores.

Já nessa fase da pesquisa, é perceptível que, gradualmente os estudantes estão conseguindo aumentar o poder explicativo de seus modelos. Mesmo sem mencionar os conceitos referentes à ligação hidrogênio nas atividades desenvolvidas, três (10,4%)

estudantes já apresentam ideias científicas e inter-relacionadas sobre o conteúdo em questão. Essa evolução também é observada, mesmo que em menor grau, no percentual de estudantes (86,2%) com concepções empiristas, ou seja, inicialmente já utilizam termos científicos para expressar suas ideias, ainda que essas ideias sejam derivadas da observação e aplicação de regras. Desta forma, observa-se que as atividades desenvolvidas estão contribuindo com a sequência de transição progressiva dos modelos explicativos dos sujeitos investigados.

- Fase intermediária

Para essa fase, foram analisadas 203 respostas dos sujeitos investigados. O Quadro 33 apresenta a categorização.

Quadro 33 – Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase intermediária da pesquisa

Categoria	Exertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	-	-	-
Empirista	- <i>Interação do Hidrogênio de uma molécula com FON de outra molécula. E22</i> - <i>Interações fortes que ocorrem entre o hidrogênio e FON. E5</i>	09	31
Racionalista	- <i>É uma interação muito forte, para rompe-la é necessário bastante energia. As ligações de hidrogênio ocorrem entre os dipolos permanentes das moléculas. É uma interação de alta polaridade, onde estão presentes ligações covalentes entre o hidrogênio e o oxigênio (O-H), o nitrogênio (N-H) e o flúor (F-H). E12</i> - <i>É a interação mais forte que existe, pois, o átomo de hidrogênio de uma determinada molécula ao interagir com átomos muito eletronegativos (FON) de outras moléculas, formam cargas parciais positivas e negativas de alta polarizabilidade, resultando em altos pontos de fusão e ebulição. E9</i>	20	69

Fonte: Autores.

As atividades desenvolvidas, tais como: resolução de problemas, pesquisa, modelagem e atividades experimentais investigativas, dentro de uma perspectiva construtivista, foram essenciais para que os estudantes, gradativamente, conseguissem evoluir conceitualmente.

Diante disso, observa-se que 69% dos sujeitos, nesta fase da pesquisa, conseguiram expressar seus modelos de forma científica, inter-relacionada e com uma grande capacidade de abstração, ou seja, no decorrer na pesquisa, foram aumentando o poder heurístico de seus modelos, favorecendo a formação de sequencias de transição progressiva.

Ressalta-se que o ensino de Ciências, segundo os documentos oficiais da educação brasileira (BRASIL, 2000) tem como foco utilizar as ideias prévias que os estudantes possuem para explicar um determinado fenômeno e confrontá-las com explicações científicas, com vistas a construção ressignificações de conhecimentos. Esse processo é contínuo e, muitas vezes, lento. Diante disso, transpondo as ideias lakatosianas para o processo educativo, entende-se que a evolução conceitual não é uma substituição das concepções prévias dos estudantes por ideias científicas, mas um enriquecimento do espectro de ideias que ele dispõe para a compreensão de um determinado fenômeno.

- Fase Final

Para essa fase foram analisadas 87 respostas dos estudantes, das quais encontram-se categorizadas no Quadro 34.

Quadro 34 – Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase final da pesquisa

Categoria	Exertos das respostas	Nº de sujeitos	%
Realista	-	-	-
Empirista	- <i>É uma interação que ocorre quando o hidrogênio interage com flúor, oxigênio e nitrogênio. E6</i> - <i>Ligação forte entre o hidrogênio e FON. E20</i>	05	17
Racionalista	- <i>A ligação hidrogênio é característica de moléculas polares, onde estão presentes ligações covalentes entre o hidrogênio e o oxigênio (O-H), o nitrogênio (N-H) e o flúor (F-H), formando um tipo de interação dipolo-dipolo, só que muito mais intensa que a dipolo-dipolo comum. E12</i> - <i>São interações extremamente fortes, pois a diferença de eletronegatividade entre os átomos envolvidos favorece a formação de cargas parciais, gerando alta polarizabilidade e um forte momento dipolo elétrico entre as moléculas. E16</i>	24	83

Fonte: Autores.

Ao final das atividades desenvolvidas, observa-se dois aspectos importantes. O primeiro refere-se a considerável evolução conceitual por partes dos sujeitos investigados.

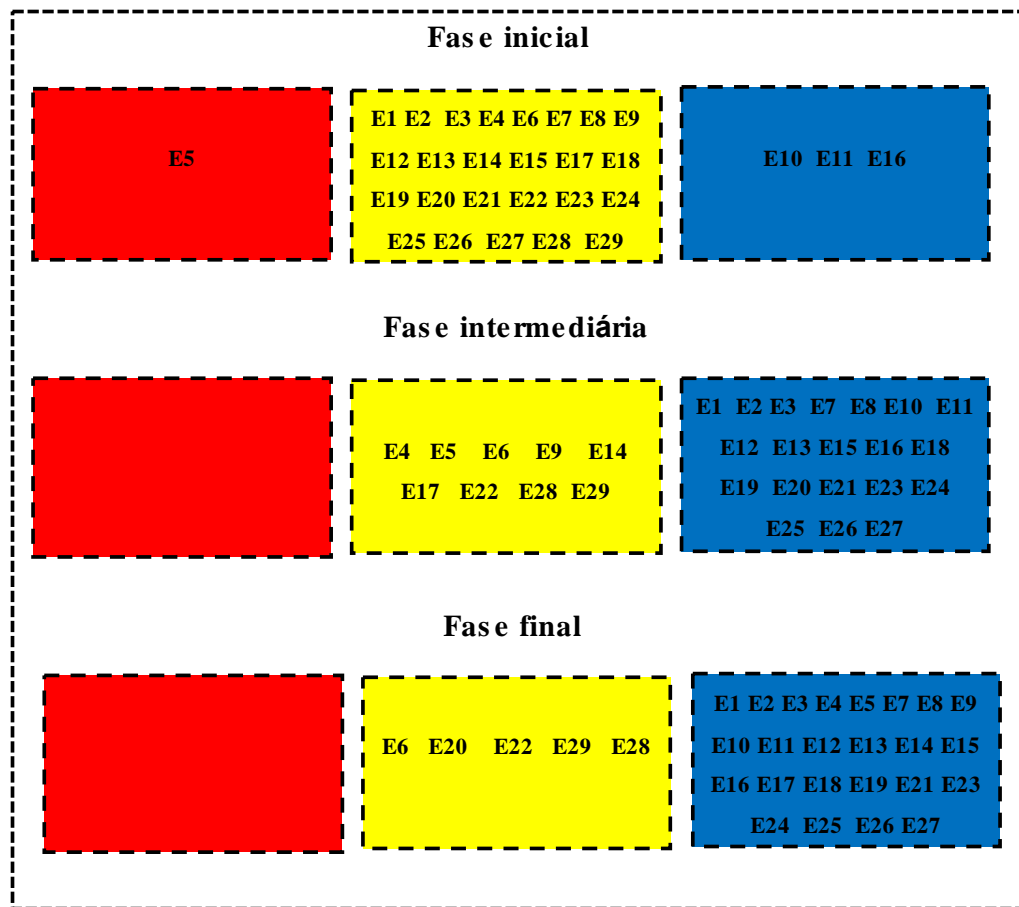
Desta forma, conforme demonstra o Quadro 34, 83% (24) dos estudantes conseguiram expressar seus modelos de forma científica, formando ao longo do desenvolvimento da unidade didática 3, seqüências de transição progressiva de seus modelos explicativos. Com isso, infere-se que essas atividades contribuíram de forma significativa com o aumento progressivo do poder heurístico de seus modelos.

O segundo aspecto está relacionado com o percentual (17%) de estudantes que ainda permaneceram com visões empiristas nesta fase final da pesquisa. Lakatos nos fornece uma explicação plausível para esse fato. Segundo o autor, a filosofia da ciência fornece métodos normativos para explicar o desenvolvimento do conhecimento científico. O empirismo, por exemplo, é uma das mais influentes metodologias da ciência. O empirismo só permite, como ciência, enunciados que descrevem fatos puros, neutros e generalizações indutivas a partir destes. Desta forma, a ideia que a ciência é conhecimento pronto, acabado e provado, perdurou por muito tempo e ainda influencia o sistema educacional.

Mesmo após todas as atividades desenvolvidas, preocupando-se em mostrar que a Química não desvela verdades, mas constrói conhecimentos, ainda 17% insistiram em aplicar regras gerais e desenvolver seus modelos, por meio de observações indutivas.

A Figura 66 fornece uma visão geral da evolução conceitual por parte dos estudantes investigados.

Figura 66 – Classificação dos estudantes por zonas filosóficas nas três fases da pesquisa



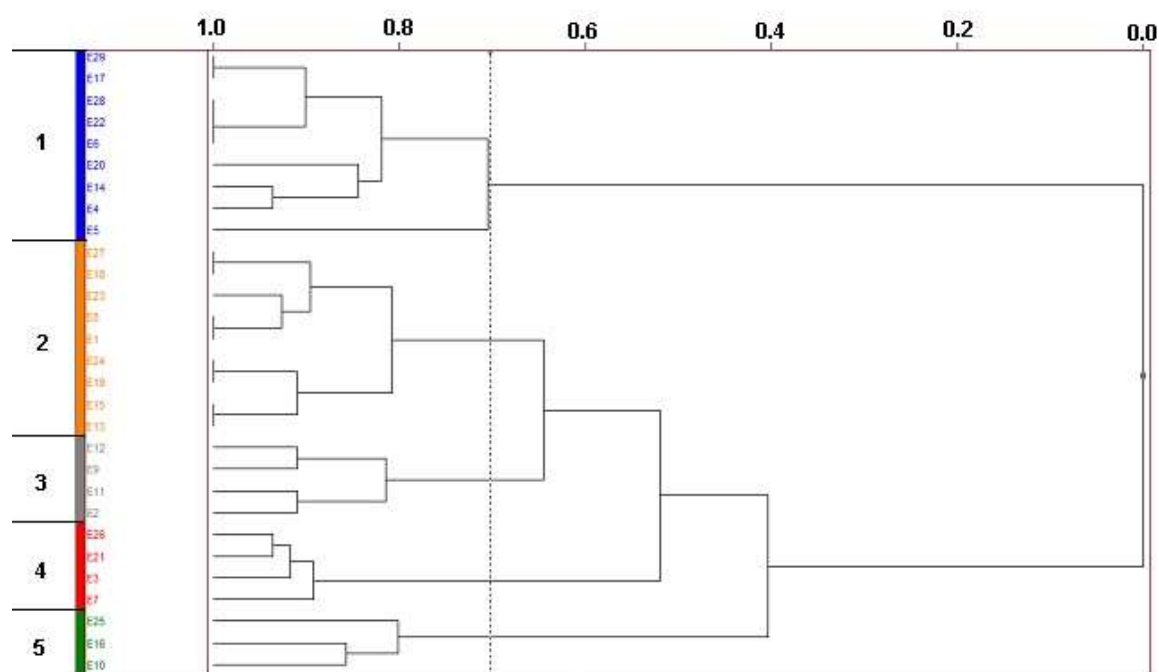
Fonte: Autores.

É visível que os modelos explicativos dos estudantes foram progressivamente progredindo ao longo das fases. Na discussão da terceira etapa, serão apresentadas as sequências de transição progressiva desses modelos.

III Etapa

Após a análise das etapas I e II, utilizou-se o HCA para o agrupamento de estudantes com respostas similares. O dendrograma obtido a partir da HCA está representado na Figura 67. Os ramos do Dendrograma indicam cinco grupos de alunos (I-V) com 70,3% (0,703) de similaridade.

Figura 67 – Dendrograma obtido a partir da HCA para a terceira dimensão



Dendrograma obtido a partir da HCA utilizado o método Ward/Incremental e a distância Euclidiana.

Fonte: Autores.

A Tabela 9 apresenta o agrupamento de estudantes com respostas similares, bem como o sujeito escolhido para descrever o desenvolvimento da sequência de transição progressiva dos modelos explicativos.

Tabela 9 – Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva

	Estudantes	Transição progressiva
Grupo I	E29 E17 E28 E22 E6 E20 E14 E4 E5	E29/E5
Grupo II	E27 E18 E23 E8 E1 E24 E19 E15 E23	E1
Grupo III	E12 E11 E9 E2	E11
Grupo IV	E26 E21 E3 E7	E3
Grupo V	E25 E16 E10	E25

Fonte: Autores.

Nesta etapa da pesquisa, considerou-se importante inserir a Tabela 10 com o intuito de explicar os grupos formados pelo HCA. Observa-se que para o Grupo I foram escolhidos dois

representantes para a análise da sequência de transição progressiva. Diante disso, ressalta-se que os dados lançados no referido programa são numéricos, o que implica um agrupamento por semelhanças e proximidades. Ao observar o Grupo I apresentado na Tabela 10, nota-se que aparentemente esse grupo possui similaridades distintas, divididos em empirista/empirista/empirista (E29, E28, E22, E6 e E20) e empirista/empirista/racionalista (E17, E14, E4 e E5). Desta forma, ressalta-se que essa aparente não similaridade aparente está relacionada com os valores próximos de uma zona filosófica para outra (empirista 2,4 – racionalista 2,5).

Tabela 10 – Classificação dos estudantes por score e zona filosófica

Grupo I						
Estudante	Score	Zona	Score	Zona	Score	Zona
E29	2	Empirista	2	Empirista	2,0	Empirista
E17	2	Empirista	2	Empirista	2,	Racionalista
E28	1,8	Empirista	2	Empirista	2,0	Empirista
E22	1,8	Empirista	2	Empirista	2,0	Empirista
E6	1,8	Empirista	2	Empirista	2,0	Empirista
E20	1,8	Empirista	2,4	Empirista	2,0	Empirista
E14	1,8	Empirista	2	Empirista	2,5	Racionalista
E4	1,8	Empirista	2,2	Empirista	2,5	Racionalista
E5	1,4	Realista	2	Empirista	2,5	Racionalista
Grupo II						
E27	2,2	Empirista	2,6	Racionalista	2,7	Racionalista
E18	2,2	Empirista	2,6	Racionalista	2,7	Racionalista
E23	2	Empirista	2,5	Racionalista	2,7	Racionalista
E8	2	Empirista	2,6	Racionalista	2,6	Racionalista
E1	2	Empirista	2,6	Racionalista	2,6	Racionalista
E24	1,8	Empirista	2,6	Racionalista	2,7	Racionalista
E19	1,8	Empirista	2,6	Racionalista	2,7	Racionalista
E15	1,8	Empirista	2,5	Racionalista	2,7	Racionalista
E23	2	Empirista	2,5	Racionalista	2,7	Racionalista
Grupo III						
E12	2,2	Empirista	2,6	Racionalista	2,5	Racionalista
E11	2,6	Racionalista	2,6	Racionalista	2,7	Racionalista
E9	2,4	Empirista	2,4	Empirista	2,3	Racionalista
E2	2,4	Empirista	2,8	Racionalista	2,6	Racionalista
Grupo IV						
E26	1,8	Empirista	2,8	Racionalista	3,0	Racionalista
E21	1,6	Empirista	2,8	Racionalista	3,0	Racionalista
E3	1,8	Empirista	3	Racionalista	3,0	Racionalista
E7	2	Empirista	2,8	Racionalista	3,0	Racionalista
Grupo V						
E25	2,4	Empirista	3	Racionalista	3,0	Racionalista
E16	3	Racionalista	3	Racionalista	3,0	Racionalista
E10	2,8	Racionalista	3	Racionalista	2,7	Racionalista

A seguir serão desenvolvidas as sequências de transição progressiva dos estudantes mencionados na Tabela 9.

4.3.2 Transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes para a dimensão ligação hidrogênio

Etapa IV

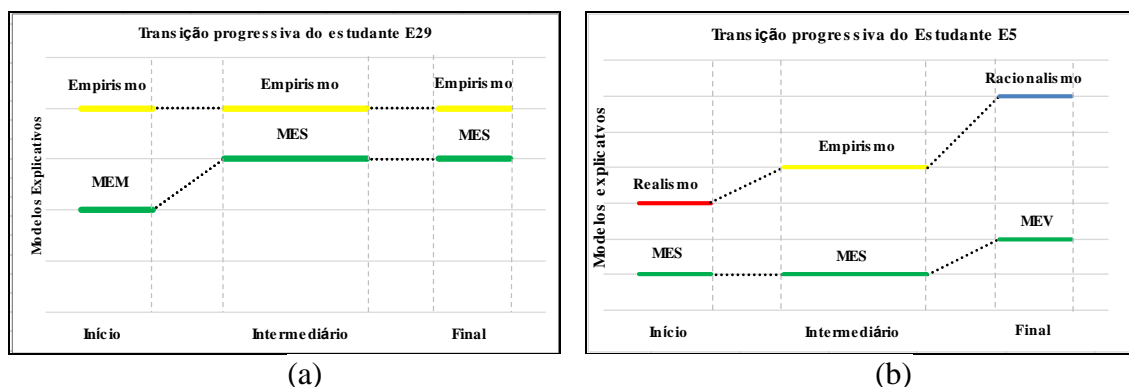
Para essa dimensão considerou-se relevante analisar a evolução conceitual nas três fases da pesquisa dos seguintes conceitos:

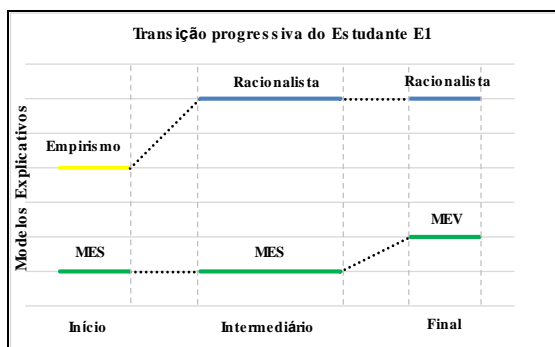
- ✓ Conceituação da ligação hidrogênio;
- ✓ Diferenças dos pontos de ebulição para moléculas unidas por interações hidrogênio;
- ✓ Explicação dos fenômenos pelos níveis de representação da matéria.

Análise da transição progressiva dos estudantes na dimensão ligação hidrogênio

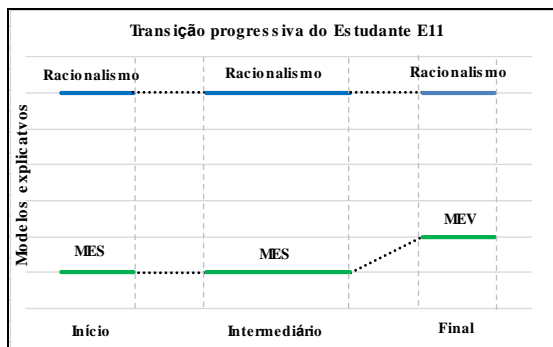
A Figura 68 representa a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes E29, E5, E1, E11, E3 e E25 (representantes dos grupos especificados na Tabela 9), respectivamente.

Figura 68 – Transição progressiva do estudante E29, E5, E1, E11, E3 e E25 para as três fases da pesquisa para terceira dimensão

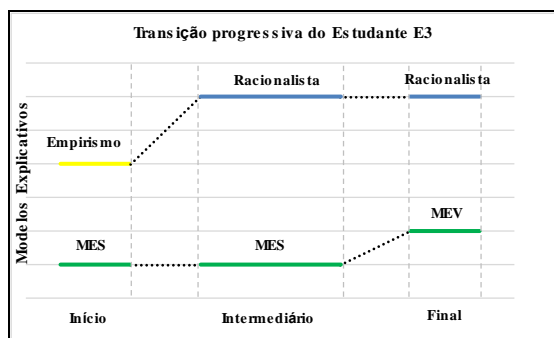




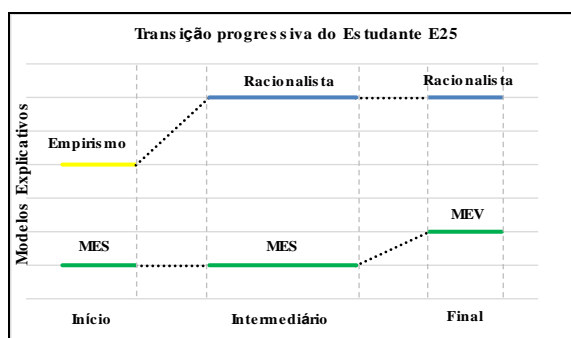
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: Autores.

Em relação à construção do conhecimento referente aos conceitos de ligação hidrogênio é possível perceber que houve transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes E5, E1, E11, E3 e E25. Desta forma, infere-se que as atividades desenvolvidas contribuíram de forma significativa para a evolução conceitual dos modelos desses estudantes. O estudante E5, por exemplo, ao início da pesquisa possuía concepções realistas sobre a ligação hidrogênio, já na fase intermediária, evoluiu conceitualmente, mesmo que ainda, com ideias empiristas e na fase final, conseguiu expressar seus modelos, dentro de uma perspectiva racionalista. Isso demonstra a transição progressiva de seu modelo, ou seja, no decorrer das atividades aumentou gradativamente o poder heurístico para explicar determinados fenômenos.

A teoria Lakatosiana diz que os programas de pesquisa são *progressivos* exatamente quando suas teorias posteriores explicam tudo que era explicado pelas suas predecessoras e ainda alguns fatos novos. Analogamente, podemos perceber pelos modelos explicativos dos estudantes acima mencionados que houve evolução progressiva de suas explicações, o que implica, similares aos PIC, em transições progressivas dos modelos explicativos.

Entretanto, ainda se percebe que um grupo de estudantes não conseguiu progredir, permanecendo com ideias empiristas em todas as fases da pesquisa. Desta forma, não houve a formação de sequências de transição progressiva de seus modelos. Em relação a isso, segundo Puster (2003), o empirismo é uma concepção muito presente nas ideias de estudantes, pois há uma crença de que os elementos internos e externos do ser humano funcionam como a fonte de onde provém todo o conhecimento e, por implicação, as ideias que venha a ter. Por exemplo, é da sensação externa que se tem a noção de cores, temperaturas, profundidades, texturas e as demais sensações experimentadas que dependem diretamente da experiência sensorial para chegar ao entendimento do objeto, ou seja, as ideias são os alicerces do conhecimento e a experiência é a única fonte do saber.

Por isso, muitas vezes, é lento e difícil contribuir para uma efetiva aprendizagem. O estudante não abandona suas ideias por meio da mera exposição das concepções científicas. Na maioria das vezes, a exposição do professor não é internalizada na memória de longo prazo ou são simplesmente armazenadas como proposições destituídas de significado, com a crença empirista mais profundamente arraigada. Mesmo com a maior diversidade de aulas, como foi abordado até o momento, buscando desenvolver habilidades como, resolução de problemas, investigação, raciocínio, ainda se percebe que essas concepções empiristas estão enraizadas na estrutura cognitiva dos estudantes. Desta forma, é necessário ficar atento em todo o processo de aprendizagem, com vistas a evolução conceitual, o que usualmente requer mais do que uma simples adição transitória de conteúdos.

Em relação a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, é possível perceber que as atividades contribuíram para a transição progressiva dos modelos dos estudantes investigados.

A seguir será analisada a evolução conceitual sobre a ligação hidrogênio (LH), a relação entre essas forças e o ponto fusão (LHPF) por fase da pesquisa, bem como a análise da capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria.

- Fase inicial

O Quadro 35 apresenta os modelos explicativos dos estudantes na fase inicial da pesquisa referente a dimensão ligação hidrogênio.

Quadro 35 – Modelos explicativos estudantes na fase inicial da pesquisa

Estudante	LH	LHPF
E29	- É a interação entre átomos de hidrogênio de uma molécula, com átomos eletronegativos de outra molécula.	- por que H_2O , NH_3 e HF apresentam ligação de hidrogênio.
E5	- Tudo que tem hidrogênio.	- Por que o raio atômico dos átomos que completam a molécula junto com o hidrogênio é maior que o dos outros.
E1	- É uma interação em que o hidrogênio de uma molécula interage com FON de outras moléculas.	- Por que a polarizabilidade que se forma quando há interação entre o hidrogênio e FON é muito alta.
E11	-É uma interação intermolecular entre o hidrogênio de uma determinada molécula e átomos eletronegativos como FON (flúor, oxigênio e nitrogênio). São muito intensas por causa da diferença de eletronegatividade, gerando uma elevada densidade eletrônica.	- por que H_2O , NH_3 e HF formam ligação hidrogênio. Estes tipos de interação tem uma diferença de eletronegatividade muito grande, como também uma alta densidade eletrônica, um átomo muito eletropositivo (hidrogênio) puxa menos elétrons que outros mais eletronegativos (FON). Assim a água, amônia e HF possuem forças intermoleculares mais intensas e conseqüentemente maiores pontos de ebulição.
E3	Interação entre dipolos, em que o hidrogênio interage com FON.	- Os pontos de ebulição são maiores por possuírem interações mais fortes.
E25	- Acredito que seja a interação mais forte que ocorre, e é uma interação que ocorre só em moléculas que possuem o hidrogênio, pois essa interação ocorre por conta dele.	- por que H_2O , NH_3 e HF possuem diferença de eletronegatividade e polarizabilidade acentuada, elevando os pontos de ebulição desses compostos.

Fonte: Autores.

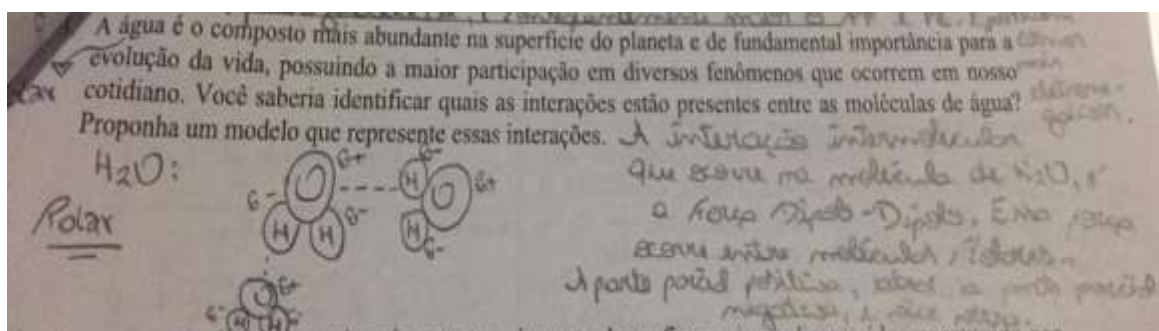
Na fase inicial, referente a unidade didática 3, é possível perceber que maioria dos estudantes já apresenta ideias científicas sobre o tema em estudo. Apesar dessas concepções serem frutos de observações neutras e aplicações de regras gerais, ainda assim é compreensível, pois os estudantes investigados, nesta fase da pesquisa, não haviam estudado o conteúdo de ligação hidrogênio. Além disso, observa-se que representante do grupo IV, E11, já apresenta ideias racionalistas ao expressar a conceituação do conteúdo abordado, inter-relacionando a eletronegatividade e densidade eletrônica para abordar a intensidade/força da ligação hidrogênio.

Em relação a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, observa-se que somente o representante do grupo I, E29, apresentou seus modelos, dentro de uma visão macroscópica dos fenômenos em estudo. Este estudante não conseguiu, nesta fase

da pesquisa, expressar suas ideias em nível atômico-molecular, o que exige um maior poder de abstração.

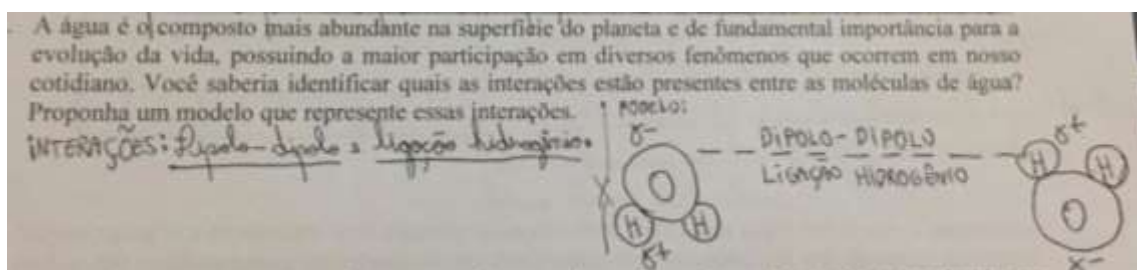
Entretanto, a maioria dos sujeitos conseguiu, já nesta fase da pesquisa, expressar seus modelos em nível submicroscópico, como apresentado nas Figuras 69, 70 e 71, correspondentes às representações dos estudantes E25, E11 e E5, respectivamente.

Figura 69 – Representação pictográfica do E25 na fase inicial da terceira dimensão da pesquisa



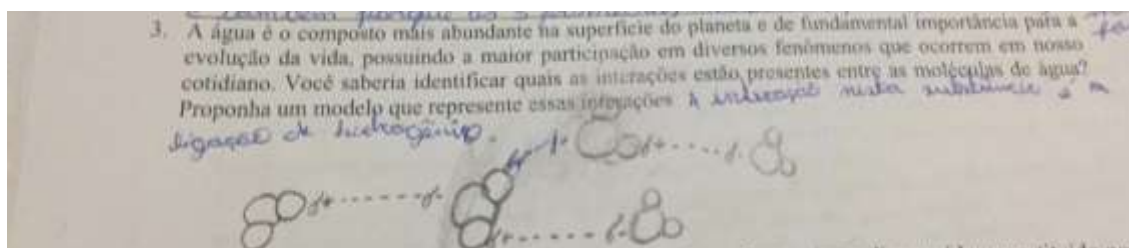
Fonte: Autores.

Figura 70 – Representação pictográfica do E11 na fase inicial da terceira dimensão da pesquisa



Fonte: Autores.

Figura 71 – Representação pictográfica do E5 na fase inicial da terceira dimensão da pesquisa



Fonte: Autores.

Observa-se que os estudantes utilizaram os conhecimentos internalizados nas dimensões anteriores, quando, por exemplo, caracterizaram como dipolo-dipolo a natureza da ligação hidrogênio e, além disso, atribuem as cargas parciais positivas e negativas corretamente. Nesta fase da pesquisa, os estudantes ainda desconhecem que a ligação hidrogênio forma um tipo especial de interação dipolo-dipolo, que é cerca de cinco vezes mais intensa que uma interação dipolo-dipolo comum. Entretanto, suas representações pictográficas apresentam classificações corretas a respeito do assunto abordado. Sendo possível afirmar que o conjunto de atividades desenvolvidas vem contribuindo para a transição progressiva dos modelos explicativos da maioria dos estudantes investigados.

- Fase Intermediária

O Quadro 36 apresenta os modelos explicativos dos estudantes na fase intermediária da pesquisa.

Quadro 36 – Modelos explicativos estudantes na fase Intermediária da pesquisa

(continua)

Est	LH	LHPF
E29	- Força molecular intensa em que o hidrogênio interage com FON	- por que H_2O , NH_3 e HF são ligação hidrogênio por possuírem FON, ou seja, mais difícil de serem rompidas.
E5	- É uma interação entre átomos de hidrogênio em uma molécula com outros átomos bastante eletronegativos (FON).	- Por que a água, amônia e HF possuem ligação de hidrogênio, então é preciso mais energia para serem rompidas, conseqüentemente, isso eleva o ponto de fusão e ebulição.
E1	- É um tipo especial de dipolo-dipolo por ser uma interação extremamente forte. Quando há a aproximação do hidrogênio de uma molécula com átomos com elevada eletronegatividade (Oxigênio, flúor e nitrogênio) ocorre a formação de um forte momento dipolar elétrico.	- as moléculas de HF , água e amônia interagem por ligação de hidrogênio que é uma interação bem forte, devido a diferença de eletronegatividade dos átomos envolvidos na interação, assim é necessário elevada energia para o rompimento dessas interações, ou seja possuem elevados pontos de ebulição. Já H_2S e HCl são interações dipolo-dipolo convencionais e é mais fraca que a ligação hidrogênio, o que explica o menor ponto de ebulição.

Quadro 36 – Modelos explicativos estudantes na fase Intermediária da pesquisa

(conclusão)

Est	LH	LHPF
E11	<i>Esse tipo de interação ocorre quando uma determinada molécula possui hidrogênio (formando uma carga parcial positiva) interagindo com flúor, oxigênio e nitrogênio de outra molécula, ou seja, átomos muito eletronegativos (carga parcial negativa). Essa interação é muito forte e origina dipolos muito acentuados e é necessária uma energia muito alta para romper essas interações.</i>	<i>- por que H₂O, NH₃ e HF formam ligação hidrogênio, que é a força intermolecular mais forte, então precisa de muita energia para rompe-las.</i>
E3	<i>- É uma interação intermolecular que é formada quando há aproximação do hidrogênio de uma molécula a FON de outra, pois esses três átomos são muito eletronegativos que interagindo com o hidrogênio que é pouco eletronegativo, formam cargas parciais positivas (H) e negativas (FON) e forma uma interação que é muito forte, chamada de ligação hidrogênio.</i>	<i>- Pois H₂O, NH₃ e HF formam ligação hidrogênio que é muito mais forte que a dipolo-dipolo convencional, é preciso mais energia para romper a ligação hidrogênio para que ocorra uma mudança no estado físico da matéria.</i>
E25	<i>- Ligação hidrogênio é a interação mais intensa que há. Essa interação ocorre entre moléculas que possuem o átomo de hidrogênio interagindo com outras moléculas que possuem átomos muito eletronegativos, como o flúor, oxigênio e nitrogênio, por exemplo. Quando ocorre uma aproximação dessas moléculas forma um dipolo elétrico intensos, com cargas parciais positivas no hidrogênio (menos eletronegativo) e cargas parciais negativas no F, O e N (mais eletronegativos).</i>	<i>- Pois H₂O, NH₃ e HF formam ligação hidrogênio. Essa interação é a mais intensa existente, o que causa elevados pontos de ebulição nessas substâncias.</i>

Fonte: Autores.

A análise do Quadro 36 permite inferir que nesta fase da pesquisa houve uma significativa evolução conceitual por parte dos estudantes investigados. Observa-se nas respostas do E1, E11, E3 e E25 (Representantes dos grupos II, III, IV e V) inter-relação entre os conceitos e maior grau de complexidade na utilização dos termos científicos.

Ressalta-se que na elaboração das unidades didáticas, considerou-se atividades baseadas, principalmente, na explicitação de ideias e concepções dos estudantes, por meio de situações problemas, atividades de modelagem e experimentação investigativa, com vistas a identificação dessas ideias para posterior reestruturação, predição de fatos novos e aumento do poder heurístico de seus modelos iniciais. Desta forma, acredita-se que essas atividades

contribuíram para a transição progressiva dos modelos explicativos da maioria dos estudantes investigados.

Dentro de PIC as teorias individuais são julgadas por comparação com as teorias anteriores dentro de seu próprio programa de pesquisa, não por comparação com suas correspondentes em programas de pesquisa rivais. Um programa de pesquisa é melhor do que outro somente se (a) explica tudo que foi explicado por seu rival, e ainda (b) prediz mais fatos novos que seu rival, o que implica em programas progressivos. Analogamente, as teorias dos estudantes foram avaliadas individualmente e, desta forma, considerou-se que houve transição progressiva quando, de uma fase para a outra, o estudante conseguiu explicar mais fatos novos, aumentar a complexidade e inter-relação entre os conceitos.

Em relação a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, observou-se que na terceira dimensão, da fase inicial para intermediária, não houve transição progressiva nas representações pictográficas dos fenômenos em estudo, pois os estudantes já iniciaram seus modelos com a utilização de entidades do mundo submicroscópico. Desta forma, seus modelos explicativos permaneceram no nível submicroscópico.

- Fase final

O Quadro 37 apresenta os modelos explicativos dos estudantes na fase final da segunda dimensão da pesquisa.

Quadro 37 – Modelos explicativos dos estudantes na final da pesquisa

(continua)

Est	LH	LHPF
E29	- É uma ligação forte entre o hidrogênio de uma molécula e FON de outra.	- por que H_2O , NH_3 e HF são ligação hidrogênio, ou seja, terá um ponto de fusão e ebulição mais alto comparados aos demais compostos.
E5	- É uma interação intermolecular que ocorre quando há formação de um dipolo permanente mais intenso, em que o átomo de hidrogênio de uma determinada molécula interage com átomos muito eletronegativos, como o oxigênio, nitrogênio e flúor. É a mais forte entre as interações (dipolo-dipolo, forças de London e ligação hidrogênio)	- Por que H_2O , NH_3 e HF formam ligação hidrogênio, que é a força intermolecular mais intensa, logo é necessário uma grande quantidade de energia para romper estas interações, por isso o ponto de ebulição mais elevado.

Quadro 37 – Modelos explicativos dos estudantes na final da pesquisa

(conclusão)

Est	LH	LHPF
E1	- Interação forte devido a alta diferença de eletronegatividade entre o hidrogênio de uma molécula com oxigênio, nitrogênio ou flúor de outra. A intensidade dessa força está relacionada com a polarizabilidade formada quando esses átomos se aproximam, formando um dipolo elétrico intenso.	- Por que H_2O , NH_3 e HF formam ligação hidrogênio, sendo mais intensa que a dipolo-dipolo convencional, o que causa um ponto de ebulição mais elevado, por precisarem de mais energia para serem rompidas.
E11	- Interação do átomo de hidrogênio com flúor, nitrogênio e oxigênio. Como possuem uma alta deslocalização de elétrons e uma diferença de eletronegatividade grande, tem ponto de ebulição alto.	- Apesar de todos os compostos formarem dipolo-dipolo, o que faz H_2O , NH_3 e HF ter ponto de ebulição altos é por que formam ligação hidrogênio. Logo, tem diferença de eletronegatividade e alta assimetria na distribuição eletrônica e isto influencia na alta intensidade das interações, por isso possuem altos pontos de ebulição.
E3	- É uma interação intermolecular que é formada quando há aproximação do hidrogênio de uma molécula a FON de outra, pois esses três átomos são muito eletronegativos que interagindo com o hidrogênio que é pouco eletronegativo, formam cargas parciais positivas (H) e negativas (FON) e forma uma interação que é muito forte, chamada de ligação hidrogênio.	- Pois a interação das moléculas da água é do tipo ligação hidrogênio, que é preciso muito mais energia para romper essa interação comparada com as outras que não precisam de tanta energia.
E25	- Ligação hidrogênio é a interação mais intensa que há. Sua natureza, assim como a dipolo-dipolo é a dipolo permanente. Ocorre entre moléculas que possuem o hidrogênio e moléculas que possuem átomos muito eletronegativos, como o flúor, oxigênio e nitrogênio.	- A temperatura de ebulição da água é mais alta, pois quanto mais forte for as interações entre suas moléculas, maior será a temperatura de ebulição, sendo necessário uma maior quantidade de energia para romper tais interações.

Fonte: Autores.

Até o presente momento é possível perceber a dimensão epistemológica da evolução conceitual por parte dos estudantes, por meio das três zonas filosóficas. A primeira delas consiste apenas no raciocínio baseados em fenômenos sem descrições e explicações, ou seja, a visão realista dos fatos em estudo. Fortemente marcada na primeira dimensão desta pesquisa, em que a maioria dos estudantes representaram suas ideias puramente associadas ao senso comum e de forma ingênua. A segunda refere-se a um raciocínio que se apoia em relações de natureza intuitiva, as quais se propalam por observação linear, neutra, descontextualizada e analítica, o que implica uma visão empirista dos fatos. Essa visão permaneceu em todas as fases da pesquisa, inclusive, ao final do desenvolvimento de todas as três unidades didáticas,

cinco estudantes ainda continuaram a expressar suas ideias dentro desta perspectiva. Novamente explica-se o fato do empirismo está tão enraizado na estrutura cognitiva dos estudantes, uma vez que essa visão considera o conhecimento como algo externo, ou seja, o conhecimento como algo que vem do meio físico ou social, determinante do sujeito, e nunca o contrário (MATUI, 1995).

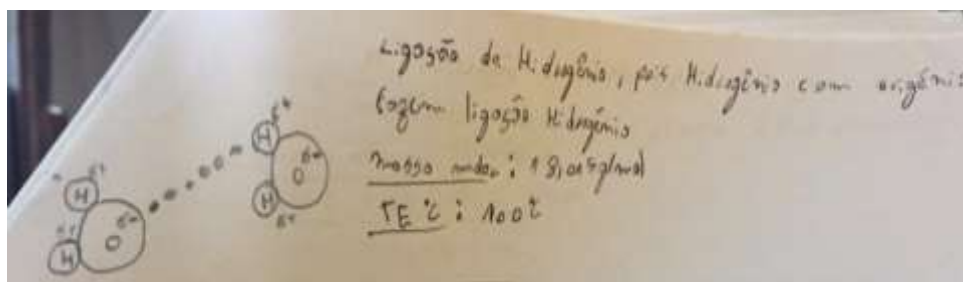
A terceira refere-se ao raciocínio baseados em modelos, capaz de avaliar teorias com base em evidências e de reconhecer o caráter problemático e aberto da investigação científica, caracterizando uma visão racionalista. Diante disso, percebeu-se que no decorrer das atividades, o racionalismo manteve-se presente, majoritariamente, em todas as fases finais da pesquisa. Infere-se, desta forma, que as unidades didáticas desenvolvidas favoreceram a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes participantes da pesquisa.

Isso é perceptível quando se analisa a evolução do conhecimento referente a ligação hidrogênio. Nota-se maior complexidade e inter-relações nas respostas dos estudantes e, além disso, observa-se a utilização de termos científicos mais complexos, tais como: polarizabilidade, deslocalização de elétrons, dipolo elétrico, cargas parciais, entre outros. Esses estudantes também conseguem fazer a devida diferenciação entre a natureza das forças intermoleculares, indicando que a ligação hidrogênio é um tipo especial de interação dipolo-dipolo.

Ainda se percebeu que os estudantes compreenderam a magnitude das interações intermoleculares e a relação dessa força com as propriedades físicas. Entenderam que é necessário fornecer energia para que ocorra uma transformação, por exemplo, de um sólido em um líquido e um líquido em um gás. Estas energias estão diretamente relacionadas com a força de atração entre as moléculas nas fases condensadas (líquida e sólida). Uma vez que a energia é diretamente proporcional à temperatura, cada um destes processos irá variar com a magnitude das forças intermoleculares. Isto é, à medida que a magnitude das interações intermoleculares aumenta, as energias necessárias para fundir, vaporizar ou sublimar uma substância aumentam.

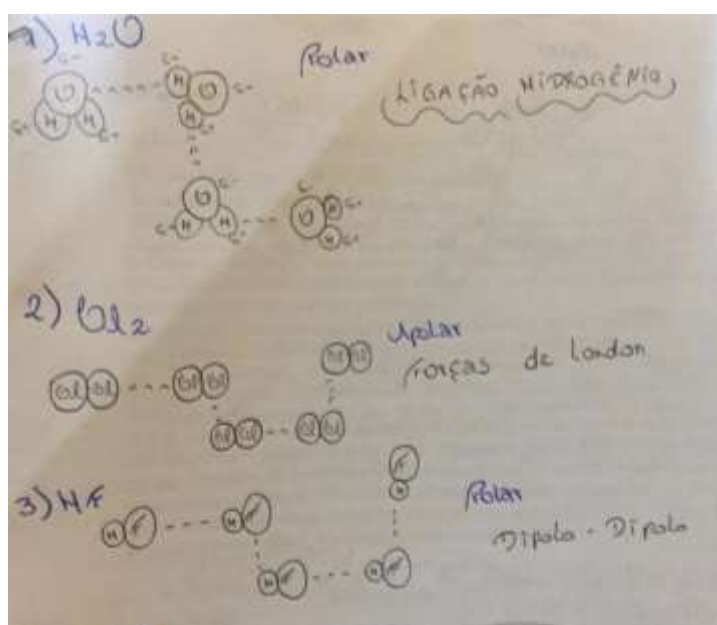
Além da transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes referentes aos conceitos de ligação hidrogênio, também se observa que as atividades desenvolvidas favoreceram aquisição de habilidade, como a de transitar entre os níveis de representação da matéria. Isso significa afirmar que todos os estudantes conseguiram compreender as forças intermoleculares dentro de uma perspectiva submicroscópica dos fenômenos em estudo, conforme observa-se nas Figuras 72 e 73.

Figura 72 – Representação pictográfica do E3 na fase final da terceira dimensão da pesquisa



Fonte: Autores.

Figura 73 – Representação pictográfica do E25 na fase final da terceira dimensão da pesquisa.



Fonte: Autores.

Justi, Sousa e Ferreira (2006) defendem que o estudo da Química, apesar de ser observável na natureza ou no laboratório, o conhecimento científico deriva de operações cognitivas que se materializam por meio das representações. Portanto, a efetiva aprendizagem dos conceitos dessa ciência só se internaliza se o estudante conseguir transitar entre os níveis de representação desses fenômenos.

Para Souza e Cardoso (2008), o uso exacerbado de princípios, leis e aplicações de regras gerais, sem pensar submicroscopicamente no fenômeno em estudo, associa-se a uma visão puramente empirista da construção e aplicação do conhecimento científico. Diante disso, acredita-se que houve uma compreensão aprofundada dos conceitos referentes às forças

intermoleculares e as atividades desenvolvidas contribuíram de forma efetiva para a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes.

Diante de todas as discussões das dimensões abordadas (natureza das forças intermoleculares, Dipolo-dipolo e forças de London e ligação hidrogênio), considerou-se importante apresentar uma visão geral e uma síntese dos resultados sobre a evolução conceitual por parte dos estudantes investigados.

4.4 VISÃO GERAL E SÍNTESE DOS RESULTADOS

Para cada dimensão apresentada, por meio do HCA, emergiram grupos de estudantes com padrões de respostas semelhantes e, a partir disso, foram discutidas a transição progressiva por esses grupos, com o intuito de evitar repetições desnecessárias e tornar a discussão exaustiva. Desta forma, as discussões dos resultados até o presente momento permitiram avaliar e analisar as sequências de transição progressiva por dimensão da pesquisa. Nesta seção, considerou-se importante e oportuno apresentar uma visão geral da evolução conceitual de todos os estudantes em todas as dimensões e fases da pesquisa.

O Quadro 38 apresenta uma visão geral da evolução conceitual dos 29 estudantes participantes da pesquisa, por dimensão e fases desenvolvidas.

Quadro 38 – Visão geral da evolução conceitual por dimensão e fases da pesquisa

(continua)

Estudante	1 Dimensão			2 Dimensão			3 Dimensão		
	Início	Inter	Final	Início	Inter	Final	Início	Inter	Final
E1	MEM	MES	MÊS	MEM	MES	MÊS	MES	MES	MEV
E2	MEM	MES	MÊS	MEM	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E3	MEM	MES	MES	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E4	MES	MEV	MEV	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS
E5	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS
E6	MEM	MES	MES	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS
E7	MES	MEV	MEV	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E8	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV

Quadro 38 – Visão geral da evolução conceitual por dimensão e fases da pesquisa

(conclusão)

E9									
	MEM	MEM	MES	MES	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E10									
	MEM	MES	MES	MES	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E11									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E12									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E13									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E14									
	MEM	MES	MES	MES	MEV	MEV	MEM	MES	MÊS
E15									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E16									
	MEM	MES	MES	MES	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E17									
	MEM	MES	MES	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS
E18									
	MEM	MES	MES	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E19									
	MEM	MES	MEV	MEM	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E20									
	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS
E21									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E22									
	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS
E23									
	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E24									
	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MEV	MES	MES	MEV
E25									
	MEM	MEM	MES	MEM	MEV	MEV	MES	MES	MEV
E26									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E27									
	MEM	MEM	MEM	MEM	MES	MES	MES	MES	MEV
E28									
	MEM	MEM	MEM	MES	MEV	MEV	MEM	MES	MÊS
E29									
	MEM	MEM	MES	MEM	MES	MES	MEM	MES	MÊS

Legenda:

Realismo		Empirismo		Racionalismo	
Modelo explicativo macroscópico		MEM			
Modelo explicativo submicroscópico		MES			
Modelo explicativo vinculado		MEV			

Fonte: Autores.

Considerou-se que houve a formação de sequência de transição progressiva dos modelos explicativos, quando em cada dimensão, o estudante conseguiu aumentar o poder heurístico de suas explicações. Ao extrair os dados contidos no Quadro 39, observa-se os seguintes resultados:

- Na **primeira dimensão**, 69% (20) dos estudantes conseguiram formar sequências de transição progressiva, ou seja, evoluíram conceitualmente em relação aos conteúdos abordados, dentre eles:

- ✓ Progrediram do Realismo-Racionalismo: 30% (6)
- ✓ Progrediram do empirismo-Racionalismo: 25% (5)
- ✓ Progrediram Realismo-Empirismo: 45% (9)

- 31% (9) dos estudantes não conseguiram formar sequências de transição progressiva.

- Na **segunda dimensão**, 86% (25) estudantes conseguiram aumentar o poder heurístico de seus modelos explicativos, ou seja, formaram sequências de transição progressiva, dentre eles:

- ✓ Um estudante permaneceu com ideias racionalistas em todas as fases dessa dimensão
- ✓ Progrediram do Realismo-Racionalismo: 13% (3);
- ✓ Progrediram do empirismo-Racionalismo: 67% (16);
- ✓ Progrediram Realismo-Empirismo: 20% (5);

- 24 % dos estudantes não conseguiram evoluir conceitualmente.

- Na **terceira dimensão** 79% (24) dos estudantes formaram sequências de transição progressiva, ou seja, progrediram de ideias do senso comum para concepções mais científicas referentes ao conteúdo de forças intermoleculares, sendo eles:

- ✓ Três (03) estudante permaneceram com ideias racionalistas em todas as fases dessa dimensão;
- ✓ Progrediram do Realismo-Racionalismo: 4% (1)
- ✓ Progrediram do empirismo-Racionalismo: 84% (20)
- ✓ Progrediram Realismo-Empirismo: 12% (5)

- 21% dos estudantes não conseguiram formar sequências de transição progressiva.

Percebe-se que em todas as dimensões houve um percentual significativo de estudantes que conseguiram progredir durante a pesquisa. Desta forma, no geral, é possível afirmar que as atividades desenvolvidas nas unidades didáticas contribuíram significativamente para a transição progressiva dos modelos explicativas da maioria dos estudantes participantes.

Além disso, a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares nas unidades didáticas desenvolvidas capacitou os estudantes a interpretar os fenômenos em estudo, por

meio dos níveis de representação da matéria. O resultado obtido, considerando a transição progressiva dos modelos explicativos referentes aos níveis de representação da matéria (Modelo explicativo macroscópico MEM, Modelo explicativo submicroscópico MÊS e modelo explicativo vinculado MEV), foi o seguinte:

- Na primeira dimensão, 67% dos estudantes conseguiram progredir de modelos explicativos macroscópicos para submicroscópicos e vinculado, dentre eles: 57% submicroscópico e 10% vinculado.
- 33% não conseguiram progredir em seus modelos, finalizando a primeira dimensão com modelos, dentro de uma perspectiva macroscópica dos fenômenos.
- Na segunda dimensão, todos os estudantes conseguiram formar sequências de transição progressiva, ou seja, evoluíram para modelos mais complexos, dentre eles: 66% para modelos submicroscópicos e 34% para modelos vinculados.
- Na terceira dimensão, houve formação de sequência de transição progressiva por parte de todos os sujeitos participantes, dentre eles: 27% para modelos submicroscópicos e 73% para modelos vinculados.

Conclui-se que a utilização de atividades diferenciadas no ensino de forças intermoleculares, dentro de uma perspectiva construtivista, em que os estudantes se tornam-se sujeitos ativos na construção do conhecimento, favorece processo de aprendizagem. Diante disso, os resultados revelaram que essas intervenções foram significativamente importantes para que os sujeitos conseguissem evoluir conceitualmente e formar sequências de transição progressiva de seus modelos explicativos, ou seja, progressivamente conseguiram aumentar o poder heurístico desses modelos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As questões **“Como ocorre o ensino e a aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares no nível médio e quais são as tendências atuais das pesquisas desenvolvidas neste campo de estudo”?** foram o ponto de partida para desenvolver uma investigação com o objetivo de identificar o cenário atual do ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares, por meio da análise de pesquisas publicadas na área de ensino, bem como para obter indicadores teóricos sobre o tema em questão.

Diante dos resultados apresentados, é possível destacar algumas considerações e implicações para o processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares:

- Considerando que o desenvolvimento de pesquisas está diretamente relacionado com a qualidade do ensino, é necessário que mais produções brasileiras dedicadas ao ensino e aprendizagem deste conteúdo, sejam desenvolvidas, visto que detectamos uma predominância de trabalhos internacionais. Conforme Tarhan et al. (2008), o conteúdo de forças intermoleculares tem recebido pouca atenção da educação química, dificultando a aprendizagem em todos os níveis de conceitos que são fundamentais, tais como: propriedades físicas, conformação molecular, solubilidade, adsorção, tensão superficial, capilaridade, pressão de vapor entre outros.

- As pesquisas empíricas, maioria dentre os artigos analisados, assumem um papel importante para o ensino, pois por meio delas, é possível delinear as principais dificuldades decorrentes do processo de ensino e aprendizagem, concepções alternativas, obstáculos à aprendizagem, estratégias de ensino eficazes, bem como possíveis soluções para favorecer a educação química.

- As distorções conceituais e os modelos inadequados detectados no nível superior podem ser consequência do desenvolvimento do tópico na educação básica. Neste contexto, estratégias de ensino que visem minimizar concepções alternativas, bem como evitar a memorização de conceitos na interpretação de fenômenos, são propostas viáveis para a educação básica. Dentre elas destacam-se: softwares computacionais, atividades experimentais investigativas, atividades de modelagem, resolução de problemas e jogos didáticos.

- O viés construtivista é o fundamento teórico predominante, utilizado com o intuito de superar o paradigma da aprendizagem por transmissão-recepção. A teoria construtivista se apresenta como uma proposta que contempla a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento e não a simples assimilação por meio do professor ou livros

didáticos. O aluno ganhou mais espaço, tendo suas concepções valorizadas, tornando-se sujeito ativo no processo de aprendizagem.

- A necessidade de ressaltar as diferenças entre interações e ligações químicas, que embora pareçam triviais para os professores, não são tão óbvias para os estudantes. Torna-se fundamental a compreensão de que o limite entre uma interação e uma ligação química está associado à sobreposição de orbitais e, conseqüentemente, à energia resultante do processo. Quando uma interação química entre as espécies é rompida, ocorrem mudanças nas propriedades físicas das substâncias. Já quando as ligações entre os átomos são rompidas ocorre formação de novas substâncias (CHANG, 2006).

- As concepções alternativas evidenciaram um obstáculo significativo na aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares. A adoção de metodologias diferenciadas que favoreceram a compreensão do conhecimento químico por intermédio dos níveis de representação da matéria é recomendada.

É possível perceber que atualmente o ensino e aprendizagem do tópico em questão, apesar de possuir vieses transformadores, como por exemplo, utilização de referenciais construtivistas, desenvolvimento de estratégias de ensino diferenciadas e alternativas ao modelo tradicional, ainda assim, o ensino desse tópico não tem correspondido às expectativas no que se refere à sua abordagem. É possível detectar muitas dificuldades, distorções conceituais e modelos inadequados no ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares.

A partir dos resultados da investigação, foi possível detectar que uma das principais contribuições dos trabalhos se refere à tendência de pesquisas sobre as concepções alternativas dos estudantes em diferentes níveis de ensino, que abordaram vários aspectos conceituais sobre o conteúdo de forças intermoleculares. Conhecer os equívocos apresentados pelos estudantes, segundo Fernandes e Campos (2012), constitui o ponto de partida para que os professores e pesquisadores da área do ensino de Química possam elaborar e desenvolver estratégias didático-pedagógicas que contribuam com a evolução conceitual deste tópico pelos estudantes.

Desta forma, esses resultados, fizeram-nos refletir sobre como contribuir efetivamente para que estudantes do ensino médio pudessem compreender o conteúdo de forças intermoleculares, bem como aumentar progressivamente a complexidade de suas ideias em relação a esse assunto. Sendo assim, foi necessária a formulação de outra questão de pesquisa: **“Como favorecer a transição progressiva das concepções dos estudantes sobre forças**

intermoleculares, por meio do desenvolvimento de sequências didáticas, voltadas para uma abordagem diferenciada deste tema”?

Desta forma, investigou-se se a transição progressiva dos modelos explicativos sobre o conteúdo de forças intermoleculares de estudantes de nível médio pode ser favorecida pela abordagem deste tópico, por meio do desenvolvimento de uma SD.

Para isso, utilizou-se dois aspectos na análise dos modelos explicativos apresentados pelos estudantes. Estes aspectos referem-se à compreensão dos conceitos teóricos e o desenvolvimento da habilidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. Para cada uma das dimensões, foram apresentadas categorias que serviram de suporte para a análise.

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos neste projeto e responder ao problema de pesquisa, foi elaborada uma Sequência Didática (SD) destinada à construção do conhecimento do tópico de forças intermoleculares. Essa SD foi organizada com base nos pressupostos teóricos recomendados por Zabala (1998) e na adaptação dos critérios estruturantes propostos por Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004) e Guimarães e Giordan (2011). Portanto, seguindo as orientações propostas pelos autores citados, desenvolveu-se uma SD balizada em atividades experimentais de caráter investigativo, resolução de problemas e atividades de modelagem, com vistas a evolução conceitual por parte dos estudantes, de modo que seus modelos explicativos pudessem formar sequências de transição progressiva, aumentando o poder heurístico desse modelo.

Lakatos (1979) afirma que o pensamento científico é desenvolvido por meio de um constante exercício de confrontação de ideias. O autor reforça a ideia de um olhar dinâmico e fundamentalmente dialético envolvendo a competição entre PIC, de forma a destacar como necessidade evolutiva o estímulo de teorias plurais no campo científico. A partir disso, supõem-se, na perspectiva da aprendizagem, que a construção do conhecimento é um processo dinâmico e exige uma variedade de ideias para sua evolução.

Analogamente, pode-se dizer que para ocorrer a aprendizagem é necessário conexões conceituais, tendo como critério a competição entre ideias rivais (cinturão protetor e núcleo), o que implica que uma delas detenha maior poder heurístico que a outra (PIZZATO, 2010). Nesse sentido, as concepções dos estudantes não são meramente consideradas como hipóteses isoladas, mas sim como um conjunto de teorias, procedentes de construções racionais, podendo tais teorias serem estruturadas por um núcleo firme de concepções sólidas e um cinturão protetor constituído por hipóteses auxiliares que visam proteger o núcleo firme (PIZZATO, 2010).

Entretanto, segundo Pizzato (2010), quando o estudante simplesmente tende a modificar o seu cinturão protetor de ideias auxiliares para explicar alguma teoria, mantendo irrefutável o núcleo firme de suas ideias, pode implicar em uma aprendizagem regressiva.

Esses aspectos foram observados em alguns resultados da presente tese. Em cada dimensão apresentada houveram um percentual de estudantes que permaneceram com ideias empiristas, ou seja, não conseguiram formar sequências de transição progressiva de seus modelos explicativos. Observou-se que 31%, 24% e 21% dos estudantes, respectivamente para a primeira (natureza das forças intermoleculares), segunda (dipolo-dipolo e forças de London) e terceira (ligação hidrogênio) dimensões não conseguiram progredir durante as fases da pesquisa.

Além da explicação fornecida por Pizzato (2010), também podemos afirmar que o pensamento empirista ainda é muito influente no contexto educacional. A ideia que a ciência é conhecimento pronto, analítico, descontextualizado, neutro, acabado e provado, ainda permanece influenciando o sistema educacional, o que implica um enraizamento de visões empiristas, difíceis de serem superadas. Dentro deste contexto, pesquisadores (GIL-PÉREZ, 1993; PRAIA et.al, 2002), defendem que as concepções epistemológicas dos professores, possuem influência marcante sobre a suas práticas pedagógicas, o que interfere diretamente no processo de aprendizagem dos estudantes da educação básica.

A concepção empirista-idutivista foi alvo de severas críticas por parte de filósofos, como Bachelard, Lakatos e Thomas Kunh, que defendiam a concepção de cunho racionalista/construtivista. O conhecimento nessa perspectiva, é obtido por meio de hipóteses, problemas e teorias que orientam a observação de fenômenos. Desta forma, o modelo de ensino originado a partir de uma concepção racionalista/construtivista, privilegia a aprendizagem procedimental, a aquisição de atitudes e valores, uma vez que o estudante se torna o centro do processo educativo.

Diante disso, os resultados revelaram que as atividades desenvolvidas, dentro de uma perspectiva lakatosiana, foram essenciais para que os estudantes, gradativamente, conseguissem evoluir conceitualmente. Observou-se que 69%, 86% e 79% dos sujeitos na primeira, segunda e terceira dimensões, respectivamente, conseguiram expressar seus modelos de forma científica, inter-relacionada e com uma grande capacidade de abstração, ou seja, no decorrer da pesquisa, foram aumentando o poder heurístico de seus modelos, favorecendo a formação de sequencias de transição progressiva.

Pela análise da transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes, verificou-se progressiva evolução de concepções de uma dimensão para outra. Isso pôde ser

facilmente percebido na terceira dimensão, em que nenhum estudante apresentou ideias realistas, ao contrário da primeira dimensão, em que 55% dos estudantes apresentaram ideias oriundas do senso comum. Isso mostra que a aprendizagem efetiva em ciências envolve um processo lento de mudanças que deve concentrar-se não apenas na assimilação de conceitos, mas em processos epistemológicos e valores cognitivos.

Constatou-se que existe uma estreita relação entre as zonas filosóficas (realismo, empirismo e racionalismo) e a capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria. A maior parte dos estudantes que apresentaram modelos explicativos vinculados (MEV) possuíam concepções racionalistas. Esses resultados revelaram que a capacidade de interpretar os fenômenos em nível atômico-molecular foi favorecida pelo desenvolvimento do pensamento racionalista. Neste caso, a SD parece ter tido forte influência, pois foram utilizadas atividades de modelagem e atividades experimentais investigativas, das quais estimularam os estudantes a pensarem fenômenos em nível submicroscópico, além de representar suas observações por meio da simbologia química.

Esta tese não finda com as inúmeras possibilidades de investigações a cerca do tema abordado. O contexto educacional brasileiro necessita de mais pesquisas que conjecturem a interpretação de fenômenos do dia a dia por meio do entendimento do conteúdo de forças intermoleculares. Além disso, recomenda-se uma abordagem mais contextualizada do conteúdo de forças intermoleculares nos cursos de licenciatura, com vistas a formação inicial mais crítica, em que os futuros professores possam ter a oportunidade de refletir sobre as formas de abordar esse tema. Também, é extremamente importante que as questões epistemológicas sejam inseridas nos currículos da formação inicial e nos debates da formação continuada de professores, uma vez que os aspectos epistemológicos são fundamentais para uma formação mais crítica e para superação do modelo empirista ainda influente na educação brasileira.

Por fim, é possível afirmar que, em relação as contribuições pessoais, o período de doutoramento (2015 a 2018) foi extremamente importante para meu desenvolvimento pessoal e profissional. Aprofundar meus conhecimentos sobre a epistemologia da ciência proporcionou-me uma nova visão sobre o processo de ensino e aprendizagem de forças intermoleculares e suas interfaces, colaborando diretamente com a minha atuação profissional. Durante esse período vivenciei muitas experiências em sala de aula, como professora da educação básica pública no estado do RS (2015-2016), professora substituta no Instituto Federal Farroupilha, campus Panambi (2017), que inclusive foi a instituição em que foi aplicada a presente pesquisa e docente efetiva na Universidade Federal do Pampa (2018-

atual). O desenvolvimento desse trabalho e a dedicação nessas instituições proporcionaram-me refletir sobre o importante papel do professor na melhoria da educação básica e superior do Brasil e reafirmar meu compromisso com os pressupostos que defendemos para um ensino de Química de qualidade, contribuindo efetivamente para um processo que valorize a construção de conhecimentos.

Durante o período do doutorado desenvolvemos pesquisas² com o objetivo de contribuir com a área do ensino de Química, o que ampliou meus conhecimentos teóricos e despertou o gosto pela pesquisa. Foi um período de grandes aprendizados, produção acadêmica e participação em congressos nacionais e internacionais. Diante disso, reafirmo meu compromisso com o fortalecimento da pesquisa em ensino de Química e com a formação de professores que possam efetivamente contribuir com uma educação pública de qualidade.

² *Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais, REEC, 2018.*
Concepções alternativas sobre Forças Intermoleculares: um estudo a partir das publicações da área de Ensino. Enseñanza de Las Ciencias , v. extra, p. 1807-1812, 2017.

REFERÊNCIAS

- ALMOULOUD, S. A.; COUTINHO, C. D. Q. E. S. Engenharia Didática: características e seus usos em trabalhos apresentados no GT-19/ANPEd. **REVEMAT: Revista Eletrônica de Educação Matemática**, Florianópolis, SC, v. 3, p. 62-77, 2008.
- ANTUNES, M.; PACHECO, M. A. R.; Giovanela, M. Design and Implementation of an Educational Game for Teaching Chemistry in Higher Education. **Journal of Chemical Education**, 89(5), 517-521, 2012.
- ARTIGUE, M. Ingénierie didactique. In: BRUN, J. e FLORIS, R. (Ed.). **Didactique des mathématiques**. Paris: delachaux et niestlé, 1996.
- ATKINS, P.W.; JONES L.L. **Princípios de Química – Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**, Artmed Ed. Ltda, Porto Alegre (RS), 2015.
- AYRES, C., ARROIO, A. Aplicação de uma sequência didática para o estudo de forças intermoleculares com uso de simulação computacional. **Revista Experiências em Ensino de Ciências**, 10(2), 164-185, 2015.
- BACHELARD, G. **A Filosofia do não: Filosofia do Novo Espírito Científico**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. Lisboa, Editora Presença, 2009.
- BARBOSA, F. G.; Mafezoli, J.; LIMA, M. A. S. Interactions: design, implementation and evaluation of a computational tool for teaching intermolecular forces in higher education. **Revista Química Nova**, 2015.
- BASSOLI, F. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.
- BERG, J.M., TYMOCZKO, J.L., STRYER, L. **'Bioquímica'**. Editora Guanabara, Koagon S.A., 1996.
- BERKA, H. L., KILDAH, N. Experiments for Modern Introductory Chemistry: Intermolecular Forces and Raoult's Law. **Journal of Chemical Education**, 613-616, 1994.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. e Silberstein. Student's visualization of a chemical reaction. **Education in Chemistry**, 17-120, 1990.
- BLANCO, R.; NIAZ, M. Baroque tower on gothic base: a lakatosian reconstruction of students'and teachers'understanding of struture of the atom, **Science & Education**, 7, 327-360, 1998.
- BLANCO, R. e NIAZ, M. Baroque tower on gothic base: a lakatosian reconstruction of students'and teachers'understanding of struture of the atom, **Science & Education**, 7, 327-360, 1998. h
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Qualitative research for Education: an introduction to theory and methods**. Boston: Allyn and Bacon, 1982, 255 p.

BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and energetics chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, n. 5, 569-581, 1998.

BRASIL, 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.

BRASIL. Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, **Plataforma Sucupira**, 2014.
Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/index_consultas.jsf

BROMAN, K., PARCHMANN, I. Students' application of chemical concepts when solving chemistry problems in different contexts. **Chemistry Education Research and Practice**, 15, 516-529, 2014.

BROUSSEAU, G. **A Teoria das Situações Didáticas e a Formação do Professor**. Palestra. São Paulo: PUC, 2006.

BROUSSEAU, G. A. **Fundamentos e Métodos da Didática da Matemática**. In: BRUN, J. Didática das Matemáticas. Tradução de: Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

BROWN, T. ; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9 ed. Prentice-Hall, 2007.

BRUIST, M. F, SMITH, W. L., MELL, G. A simple demonstration of How Intermolecular Forces Make DNA helical. **Journal of Chemical Education**, 75(1), 52-55, 1998.

BURKHOLDER, P. R., PURSER, G. H. Using Molecular Dynamics Simulation to Reinforce Student Understanding of Intermolecular Forces. **Journal of Chemical Education**, 85(8), 1071-1077, 2008.

CACHAPUZ, A. **A necessária renovação do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2011.

CALDAS H, SALTIEL E. Atrito entre sólidos—discussão de algumas dificuldades dos alunos e potenciais materiais didáticos. **Gazeta de Física**, 2001.

CANHAM, G. R.; OVERTON, T., 'Descriptive Inorganic Chemistry', 3ª Edição, Freeman, 2003.

CAREY, S. **Conceptual change in childhood**, MIT press, Cambridge, MA, 1985.

CARVALHO, A. M. P. **O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. Editora: Cengage Learning, 2013.

CASTRO, A. D. E. A. **Didática para a escola de 1º e 2º graus**. 4. São Paulo: Pioneira, 2000.

CHALMERS, A. F. **O que é Ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

- CHANG, R. **Química Geral – Conceitos Essenciais**. Editora Rabelo, São Paulo, 2010.
- CHANG, R. **Química Geral – Conceitos Essenciais**. Editora Rabelo, São Paulo, 2006.
- CODY, J. A.; WISER, D. C. Laboratory Sequence in Computational Methods for Introductory Chemistry. **Journal of Chemical Education**, 80(7), 793-795, 2003.
- COLLINS, A.; JOSEPH, D.; BIELACZYK, K. Design research: Theoretical and methodological issues. **Journal of the Learning Sciences**, 2004.
- COOPER, M. M., WILLIAMS, L. C. Underwood, S. M. Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study. **Journal of Chemical Education**, 92(4), 1288-1298, 2015.
- COSTA, R.C. Os Obstáculos epistemológicos de Bachelard e o ensino de ciências. **Cad. Educ. FaE/UFPel**, Pelotas, 11, 153-167, 1998.
- COSTA, S. S. C., MOREIRA, J. P. Resolução de problemas I: diferenças entre novatos e especialistas. **Investigações em Ensino de Ciências**, 1(2), 176-192, 1996.
- CSIZMAR, C. M., FORCE, D. A., WARNER, D. L. Implementation of Gas Chromatography and Microscale Distillation into the General Chemistry Laboratory Curriculum as Vehicles for Examining Intermolecular Forces. **Journal of Chemical Education**, 88(7), 966-969, 2011.
- DAVYDOV, V. V. Tipos de generalización en la enseñanza. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1972.
- DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. **Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento**. In: ROJO, R.; CORDEIRO, G. S. (orgs). Gêneros orais e escritos na escola. São Paulo: Mercado de Letras, 2004, p. 95-128.
- DOMÍNGUEZ, O. J., TORO, M. A., SERRANO, E. M. Enseñanza del Concepto de Fuerzas Intermoleculares em Ingeniería Química: su Relación con Propiedades Medibles. **Formación Universitaria**, 7(5), 15-22, 2015.
- DUSCHL, R. A.; GITOMER, D. H. Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. **Journal of Research in Science Teaching**, 1994.
- EARLES, T. T. Can London Dispersion Forces Be Stronger than Dipole-Dipole Forces, Including Hydrogen Bonds? **Journal of Chemical Education**, 72(8), 727, 1995.
- FARIAS, R. F. de. As mulheres e o Prêmio Nobel de Química. **Química Nova na Escola**, n. 14, p. 28-30, 2001.
- FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2012.
- FERREIRA, P.F.M.; JUSTI, R.S. Atividades de construção de modelos e ações envolvidas. Em: **V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Bauru, 2005.

FOGAÇA, J. R. V. "Forças dipolo induzido-dipolo induzido ou dispersão de London"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/forcas-dipolo-induzido-dipolo-induzido-ou-dispersao-london.htm>>. Acesso em 01 de abril de 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GALAGOVSKY, L., BEKERMAN, D. La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 2009.

GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em Química. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.2, p.326-331, 2004.

GARNETT, P. J. Student's alternative conceptions in chemistry : a review of research for teaching and learning. **Studies in Science Education**, 25, 69-95, 1995.

GIL- PÉREZ, D. Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, 11(2), 197-212, 1993.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILBERT, J. Models & Modelling in science education. Hatfield. **The Association for Science Education**, 11, 1-13, 1993.

GILBERT, J.K.; BOULTER, C.J. Stretching models too far. Annual Meeting of the American **Educational Research Association**. San Francisco, 1995.

GIUDICE, J., GALAGOVSKY, L. Modelar la naturaleza discontinua de la materia: unapropuesta para la Escuela Media. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 7(3), 629-657, 2008.

GONSALVES, E. P. **Conversas sobre iniciação à pesquisa científica**. 5. ed. Campinas: Alínea, 2011.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 219-238, 2006.

GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, VIII. Anais. Campinas, 2011.

HENDERLEITER, J., SMART, R., ANDERSON J., ELIAN, O. How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? **Journal of Chemical Education**, 78(8), 1126-1130, 2001.

HESSLEY, R. K. Computational Investigations for Undergraduate Organic Chemistry: Modeling a TLC Exercise to Investigate Molecular Structure and Intermolecular Forces. **Journal of Chemical Education**, 77(2), 203-205, 2000.

HAIR, J. R. **Análise Multivariada de Dados**. 5^o ed.; Rio de Janeiro: Bookman, 2005.

HOPPEN, N.; MEIRELLES, F.S. Sistemas de Informação: um panorama da pesquisa científica entre 1990 e 2003. **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, v.45, n.1, p. 24-35, 2005.

HUGGINS, M. L.; **J. Org. Chem.**, 407, 1936,

HUHEEY, J. E., KEITER, E. A. and KEITER, R. L., '**Inorganic Chemistry –Principles of Structure and Reativity**', 4^a edição, Harper Collins College Publisher, New York, 1993.

IMBRAIM, S. S., MENDONÇA, P. C. C., JUSTI, R. Contribuições dos Esquemas Argumentativos de Walton para análise de argumentos no contexto do Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 13 (1), 159-185, 2013.

JEFFREY, G. A., '**An Introduction to Hydrogen Bonding**', Oxford University Press, Oxford, 1997.

JOHNSTONE, A. H. Macro and microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982.

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, 1983.

JOHNSTONE, A.H. The Future Chape of Chemistry Education, **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 5, n. 3, 2004.

JOHNSTONE, A. H. You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 1, p. 22-29, 2009.

JUNIOR, M. B. M. S.; MELO, M. S. T.; SANTIAGO, M. E. A análise de conteúdo como forma de tratamento dos dados numa pesquisa qualitativa em Educação Física escolar. **Revista Movimento**, Porto Alegre, vol. 16, nº 03, set., 2010.

JUSTI, R. S. The role of analog models in the understanding of nature of models in chemistry. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), **Metaphor and Analogy in Science Education**, 119-130, 2006

JUSTI, R.; SOUSA, V. C. A.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 1-25, 2006.

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.

KOTZ, J. C.; TREICHEL Jr.; PAUL M. **Química Geral 1 e reações químicas**. v. 1. São Paulo: Thomson Learning/Pioneira, 2005.

KOZMA, R.B. e RUSSELL, J. Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, 949-968, 1997.

KITCHENER, R. F. **Review of Piaget and Garcias's book**, Zeitschrift fur allgemeine wissenschaftstheorie, 1988.

LABURÚ, C. E.; NIAZ, M. A Lakatosian Framework to Analyze Situations of Cognitive Conflict and Controversy in Students' Understanding of Heat Energy and Temperatura. **Journal of Science Education and Technology**, vol. 11, no 3, September, 2002.

LABURÚ, C. E.; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. Os programas de Lakatos: uma leitura para o entendimento da construção do conhecimento em sala de aula em situações de contradição e controvérsia. **Ciência e Educação**, 5, 2, 23-38, 1998.

LABURÚ, C. E.; CARVALHO, M. **Educação Científica: Controvérsias Construtivistas e Pluralismo Metodológico**. Londrina: Eduel, Biblioteca Universitária, 2005.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Uma leitura lakatiana para a análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos (uma aplicação durante a aprendizagem de cinemática angular). **XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1992.

LAKATOS, I. History of Science and its Rational Reconstruction – **Boston Studies in the Philosophy of Science**. 8: 91-136, 1971.

LAKATOS, I. **História da Ciência e suas Reconstruções Racionais**!. Lisboa: Edições 70, Trad. Emília Picado Tavares Marinho Mendes, pp. 21-76, 1998.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid: Alianza, 1989.

LAKATOS, I. **O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica**. In: LAKATOS, I. e MUSGRAVE, A. (org.) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, 1979.

LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **Criticism and the Growth of Knowledge**. Cambridge, Cambridge University Press, 1970.

LAWRENCE, S. B. e HOLME, T. A., Trad.Maria L. G. Oliveira **Química Geral Aplicada à Engenharia**, CENGAGE Learning, 2009.

LEHNINGER, A.L., NELSON, L.D. e COX, M. M., **'Principles of Biochemistry'**, 4^a Edição, W.H. Freeman and Company, New York, 2005.

LEWIS, G. N., *J. Am. Chem. Society* 1916, 38, 762.

LIVNEH, M. Experiments in Dyes and Dyeing Means to better understand the nature of intermolecular forces. **Educación Química**, 16(4), 534-539, 2005.

LÔBO, Soraia Freaza. O Ensino de Química e a Formação do Educador Químico, sob o Olhar Bachelardiano. **Ciência e educação**. [online]. 2008.

LOPES, Alice R. C. Livro didático: obstáculo ao aprendizado da ciência química. **Química Nova**, V. 15, N. 3, p. 254 – 261, mar., 1992;

LOPES, Alice R. C. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**. Brasília, v.74, n.177, p.309-334, maio/ago, 1993.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: Editora EPU, 1986. 99 p.

MAFFEI, F. H. A.; ROLLO, H. A.; LASTÓRIA, S. **Doenças vasculares periféricas**. 3ª Edição, Ed. Medsi, Rio de Janeiro, 2001.

MAHAN, B. H; MYERS, R. J. **Química: um curso universitário**. 4. ed. São Paulo: E. Blucher, 1997.

MAHAN, B. H.; BRUCE H. “**Química – Um Curso Universitário**”, Ed. Edgard Blücher LTDA - São Paulo, 2010.

MARTORANO, S. A. A.; MARCONDES, M. E. R.; JUNIOR, J. B. S. Uma análise da transição progressiva de uma professora do ensino médio em seus modelos de ensino de cinética química. **Anais do IX Congresso internacional sobre investigação em didática de las ciências**, Espanha, 2013.

MARTORANO, S. A. A. **As concepções de ciência dos livros didáticos de química, dirigidos ao ensino médio, no tratamento da cinética química no período de 1929 a 2004**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), São Paulo, 2007. 225p.

MARTORANO, S. A. A. **A transição progressiva dos modelos de ensino sobre cinética química a partir do desenvolvimento histórico do tema**. (tese de doutorado), São Paulo, 2012.

MASSI, M.; MANSANO, R. D.; MACIEL, H. S.; OTANI, C.; VERDONCK, P.; NISHIOCA, L. N., "Influence of Plasma Etching of DLC Films Deposited by Magnetron Sputtering", **Thin Solid Film**, v.343, p.378-380, 1993.

MATHEWS, M. R. **Science Teaching – The role of history and philosophy of science**. New York: Routledge (1994).

MATUI, J. **Construtivismo: teoria construtivista sócio-histórica aplicada ao ensino**. São Paulo: Moderna, 1995.

MAUÉS, E.; LIMA, M. E. C. de C. Atividades Investigativas nas séries iniciais. **Presença Pedagógica**, v.12, n.72, nov./dez. 2006.

MEDINA R. A. et al. A influência da linguagem química empregada nos livros didáticos na compreensão e resoluções dos exercícios sobre “Interações Intermoleculares”. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (ENEQ)**. Brasília – DF, 2010.

MEGID NETO, J. **Tendência da pesquisa acadêmica sobre o ensino de ciências no nível fundamental**. Tese. Campinas: UNICAMP, 1999.

MENDONÇA, P. C. C. ‘Ligando’ as ideias dos alunos à ciência escolar: Análise do ensino de ligação iônica por modelagem. 2008. 241p. **Dissertação do Mestrado** em Educação - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

MIRANDA, A. C. G.; PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F. Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais, **REEC**, 2018.

MION, R. A.; ANGOTTI, J. A. P. Em Busca de um Perfil Epistemológico Para a Prática Educacional em Educação em Ciências. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 165-180, 2005.

MYERS, D., ‘**Surfaces, interfaces and colloids – Principles and Applications**, 2ª edição, John Wiley & Sons, New York, 1999.

MORAES, R; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo construído de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v.12, n.1, p.117-128, 2006

NAKHLEH, M. B. Why some students don't learn Chemistry? - Chemical Misconceptions. **Journal of Chemical Education**, v. 69, n. 3, 191-196, 1992.

NERI DE SOUZA, F. **Perguntas na Aprendizagem de Química no Ensino Superior**. (Tese Doutorado), Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006.

NERY, A. L. P., LIEGEL, R. M., FERNANDEZ, C. Um olhar crítico sobre o uso de algoritmos no Ensino de Química no Ensino Médio: a compreensão das transformações e representações das equações químicas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 2007.

NETO, J. B. Imre Lakatos e a Metodologia do Programas de Investigação Científica. **Ciência & Educação**, v. 21, n. 2, p. 165-180, 2010.

NIAZ, M. & RODRÍGUEZ, M. A. Improving learning by discussing controversials in 20th century physics. **Physics Education**, 59-63, 2002.

NIAZ, M. A rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 6, p. 623-641, 2001.

NIAZ, M. Relationship between student performance on conceptual and computational problem of chemical equilibrium. **International Journal of Science Education**. Vol 17, 1995.

NIAZ, M. A Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. **Science & Education**, v.7, pp.107-127, 1998.

NÍAZ, M.; RODRIGUEZ, M.A. Teaching Chemistry as Rhetoric of Conclusions or Heuristic Principles – A History and Philosophy of Science Perspective. **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**; (1); p.315-322. 2000.

NUNES, A. O., DANTAS, J. M., HUSSEIN, S. Revisão no Campo: O Processo de Ensino-Aprendizagem dos Conceitos Ácido e Base entre 1980 e 2014. **Revista Química Nova na Escola**, 38 (2), 185-196, 2016.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 12, n. 1, p. 139-153, 2010.

OLIVEIRA, L. C. O.; FRANCO, R .F. **Novas drogas anticoagulantes**. Medicina, Ribeirão Preto, 2016.

OLIVEIRA, M. F.; **Metodologia científica**: um manual para realização de pesquisas em administração, Universidade Federal do Goiás, 2011.

PAULING, L., **'The Nature of the Chemical Bond'**, Cornell University Press, Ithaca, New York, 1939

PAULING, L., **Chem. Revs.** v. 5, p. 173-213, 1928.

PAULING, L., **J. Chemical Education**. V. 69, p. 519-521, 1992.

PAZINATO, M. S. **Ligações Químicas: Investigação da construção do conhecimento no ensino médio**. (Tese de Doutorado). Santa Maria, UFSM, 2016.

PAZIN-FILHO, A. Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais. **Medicina**, v. 47, n. 3, p. 284-292, 2014.

PETERSON, R. F., & TREAGUST, D. F. Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. **Journal of Chemical Education**, v. 66, n. 6, 459-460, 1989.

PINTÓ, R., ALIBERAS, J., GÓMEZ, R. Tres Enfoques de la Investigación sobre Concepciones Alternativas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 14 n.2, 1996.

PIZZATO, M. C. **Enseñanza Coinspirada: Un estudio de Caso en la Formación de profesores de Ciencias**. Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, Espanha, 2010

PORLÁN, R.; A. RIVERO Y. & MARTÍN, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 15, n. 2, 1997, p. 155-171.

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., e GERTZOG, W. 'Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change', *Science Education* 66(2): 211-227, 1982.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **Aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**, Porto Alegre: Artmed, 2009.

POZO, R.M. Prospective teacher's ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. **International Journal of Science Education**, 353-371, 2001.

PUSTER, R. W. John Locke – a ideia do empirismo. In.: KREIMENDAHL, L. (Org.) *Filósofos do século XVII*. São Leopoldo, RS. UNISINOS. 2003.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. Problema, Teoria e Observação em Ciência: Para uma Reorientação Epistemológica da Educação em Ciência. **Ciência & Educação**, v.8, nº1, p.127-145, 2002.

RATAJCZAK, H.; THOMAS, W. J. O., 'Molecular Interactions', **Interscience Publications**, Wiley, 1980.

REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

RETONDO, C. G.; FARIA P. **Química das sensações**. Campinas: Editora Átomo, 2009.

ROCHA, W. R. Interações intermoleculares. **Química Nova na Escola**, caderno temático, 2001.

RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 4.ed. Petrópolis: Vozes, 1980.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**, Vol. 1. 2ª edição, São Paulo; Makron Books, 1994.

SALÉM, S. **Perfil, evolução e perspectivas da pesquisa em ensino de Física no Brasil**. Tese. São Paulo/USP, 2012.

SANTOS FILHO, P. F. **Estrutura Atômica & Ligação Química**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2007. 307 p.

SANTANA, E.M. Influência de atividades lúdicas na aprendizagem de conceitos químicos. In: **Anais do Seminário Nacional de Educação profissional e tecnologia**. Belo Horizonte, Brasil. 2008.

SANTOS, M. T., GRECA, I. M. Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 4(1), 01-25, 2005.

SANTOS, W.; SCHNETZLER, R. P. Educação em química: compromisso com a cidadania. Ijuí: Unijuí, 2003.

SÃO PAULO, **Secretaria de Educação**. Material de apoio ao currículo do Estado de São Paulo, Química, Ensino Médio, 2ª série, volume 2, 2014.

SCHMIDT, H. J., KAUFMANN, B., TREAGUST, D. F. Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. **Chemistry Education Research and Practice**, 10, 265-272, 2009.

SCHMIDT, H. G. Problem-based learning: rationale and description. **Medical Education**, v. 17, p. 11 – 16, 1983.

SENDUR, G. Are creative comparisons developed by prospective chemistry teachers evidence of their conceptual understanding? The case of inter- and intramolecular forces. **Chemistry Education Research and Practice**, 15 (4), 689-719, 2014.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W., '**Química Inorgânica**', trad. M. A. Gomes, 3ª Edição, Bookman, Porto Alegre, 2003.

SILVA, O. H. M.; NARDI, R.; LABURÚ, C. E. Uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma reconstrução racional didática. **Revista Ensaio**, vol. 10, nº 01, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, O. H. M. **Um Estudo sobre a Estruturação e Aplicação de uma Estratégia de Ensino de Física Inspirada em Lakatos com a Reconstrução Racional Didática para Auxiliar a Preparar os Estudantes para Debates Racionais entre Teorias e/ou Concepções Rivals**, Tese de doutorado, Faculdade de Ciências da Universidade de Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Bauru, 2008.

SIMÕES, E. A. Q.; TIEDEMANN, K. B. **Psicologia da percepção**. São Paulo: EPU, 2006.

SILVERSTEIN, T. P. J., J. Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos. **Chem. Educ.** 75, 723, 1998.

SMITH, K. C., NAKHLE, M. B. University students' conceptions of bonding in melting and dissolving phenomena. **Chemistry Education Research and Practice**, 398-408, 2011.

SPRATT, C.; WALKER, R.; ROBINSON, B. Mixed research methods. Practitioner Research and Evaluation Skills Training in Open and Distance Learning. Commonwealth of Learning, 2004.

SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula, **Química Nova na Escola**, 28, 51-56, 2008.

SOUZA, C. ~~acilda da-Silva~~; IGLESIAS, A. G.; PAZIN-FILHO, A. Estratégias inovadoras para métodos de ensino tradicionais – aspectos gerais. **Medicina**, v. 47, n. 3, p. 284-292, 2014.

STIPCICH, S.; TOLEDO, B. Una analogía estructural entre Toulmin y Vigotsky como aporte para desarrollar diseños curriculares. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, no 1: p. 41-51, abr. 2001.

SCHNETZLER, R.P. **Educação em Química: compromisso com a cidadania**. 4.ed. Ijuí: Unijuí, 2010.

TARHAN, L.; AYAR-KAYALI, H.; UREK, R. O.; ACAR, B. Problem-Based Learning in 9th Grade Chemistry Class: 'Intermolecular Forces', **Research in Science Education**, 01-16, 2008.

TIEDEMANN, A. The development of a validated falls risk assessment for use in clinical practice. 2006.

TORRES, N.; LANDAU, L.; BAUMGARTNEY, E.; MONTESERIN, H. Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo. **Educación Química**, 21(3), 212-218, 2010.

VERCEZE R. M. A. N.; SILVINO, E. F. M.; O livro didático e suas implicações na prática do professor nas escolas públicas de guajará-mirim, **Revista Práxis Pedagógica**, Vitória da Conquista, 2008.

VILLANI, A. Conceptual change in science and science education. **Science Education**, v. 76, n. 2, 223-237, 1992.

WANG C., BARROW, L. H. Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge. **Chemistry Education Research and Practice**, 14, 130-146, 2013.

WEDVIK, J. C., MCMANAMAN, C., ANDERSON, J. S., CARROLL, M. K. Intermolecular Forces in Introductory Chemistry Studied by Gas Chromatography, Computer Models, and Viscometry. **Journal of Chemical Education**, 885-888, 1998.

WEINHOLD, F., KLEIN, R. A. What is a hydrogen bond? Resonance covalency in the supramolecular domain. **Chemistry Education Research and Practice**, 15, 276-285, 2014.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: Como educar**. Porto Alegre, 1998.

ZIKMUND, W. G. **Business research methods**, 5.ed. Fort Worth, TX: Dryden, 2000.

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE - A - PRINCIPAIS RESULTADOS PARA A 1ª 2ª E 3ª DIMENSÕES DO ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.

Principais resultados da 1ª dimensão: caracterização dos artigos

Autores	Ano	Título do Artigo	Periódico	Volume (Número)
Diogo, H. P., Minas da Piedade, M. E., Ramos, J. J. R.	1991	Intermolecular forces in solution and lattice energies of ionic crystals: Calorimetric experiments for the physical chemistry undergraduate laboratory.	JCE	68(6)
Berka, H. L., Kildah, N.	1994	Experiments for Modern Introductory Chemistry: Intermolecular Forces and Raoult's Law.	JCE	71(7)
Earles, T. T.	1995	Can London Dispersion Forces Be Stronger than Dipole-Dipole Forces, Including Hydrogen Bonds?	JCE	72(8)
Bruist, M. F., Smith, W. L., Mell, G.	1998	A simple demonstration of How Intermolecular Forces Make DNA helical.	JCE	75(1)
Silverstein, T. P.	1998	Why Do Alcoholic Beverages Have "Legs.	JCE	75(6)
Wedvik, J. C., McManaman, C., Anderson, J. S.	1998	Intermolecular Forces in Introductory Chemistry Studied by Gas Chromatography, Computer Models, and Viscometry.	JCE	75(7)
Wilcox, C. J.	1998	London Dispersion Forces and "The Wave".	JCE	75(10)
Kimbrough, D. R., Delorenzo, D.	1998	Solving the Mystery of the Fading Fingerprints with London Dispersion Forces.	JCE	75(10)
Hessley, R. K.	2000	Computational Investigations for Undergraduate Organic Chemistry: Modeling a TLC Exercise to Investigate Molecular Structure and Intermolecular Forces.	JCE	77(2)
Henderleiter, J., Smart, R., Anderson J., Elian, O.	2001	How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? Journal of Chemical Education	JSE	78(8)
Canning, D. R., Cox, J. R.	2001	Teaching the structural nature of biological Molecules: molecular visualization in the Classroom and in the hands of students.	CERP	2(2)
Fraga, C. A. M.	2001	Razões da atividade Biológica: interações micro.	QNEsc	13(3)
Rocha, W.R.	2001	Interações intermoleculares.	QNEsc	13(4)
Santos, F., Greca, I. e Serrano, A.	2003	Uso do software DICEWIN na química geral.	RPBEC	3(1)
Cody, J. A., Wiser, D. C.	2003	Laboratory Sequence in Computational Methods for Introductory Chemistry.	JCE	80(7)
Santos, M. T., Greca, I. M.	2005	Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional.	REEC	4(1)
Livneh, M.	2005	Experiments in Dyes and Dyeing Means to	EQ	16(4)

		better understand the nature of intermolecular forces.		
Casey, R. E., Pittman, F. A.	2005	Intermolecular Forces as a Key to Understanding the Environmental Fate of Organic Xenobiotics.	JCE	82(2)
Torres, N., Landau, L., Baumgartney	2005	Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas de compuestos orgánicos: una estrategia didáctica.	EQ	16(4)
Curi, D.	2006	Polímeros e Interações intermoleculares.	QNEsc	23(3)
Nyasulu, F. W., Macklin, J.	2006	Intermolecular and Intramolecular Forces: A General Chemistry Laboratory Comparison of Hydrogen Bonding in Maleic and Fumaric Acids.	JCE	83(5)
Erny, C., Bouvier, D., Bloch, G., Laemmel, C., Leseney, A. M.	2006	Assessing the educational effectiveness of a CAL tutorial. Structure and molecular dynamics in biology; Part 1: water and molecular interactions.	CERP	7 (4)
Nery, A. L. P., Liegel, R. M., Fernandez, C.	2007	Um olhar crítico sobre o uso de algoritmos no Ensino de Química no Ensino Médio.	REEC	6(3)
Mundell, D. W.	2007	Dancing Crystals: A Dramatic Illustration of Intermolecular Forces.	JCE	84(11)
Giudice, J., Galagovsky, L.	2008	Modelar la naturaleza discontinua de la materia: unapropuesta para la Escuela Media.	REEC	7(3)
Burkholder, P. R.	2008	Using Molecular Dynamics Simulation to Reinforce Student Understanding of Intermolecular Forces.	JCE	85(8)
Tarhan, L., Ayar- Kayali, H., Urek, R. O., Acar, B.	2008	Problem-Based Learning in 9th Grade Chemistry Class: 'Intermolecular Forces'.	RSE	-
Schmidt, H. J., Kaufmann, B., Treagust, D. F.	2009	Students' understanding of boiling points and intermolecular forces.	CERP	10
Zielinski, T. J.	2009	Intermolecular Interactions: Dipole–Dipole, Dipole–Induced Dipole, and London Dispersion Forces.	JCE	86(12)
Galagovsky, L., Bekerman, D.	2009	La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes.	REEC	8(3)
Giacomo, A., Galagovsky, L., Castelo, V.	2009	Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares.	REEC	8(1)
Torres, N., Landau, L., Baumgartney, E.	2010	Fuerzas intermoleculares y su relación com propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo.	EQ	21(3)
Csizmar, C. M., Force, D. A., Warner, D. L.	2011	Implementation of Gas Chromatography and Microscale Distillation into the General Chemistry Laboratory Curriculum as Vehicles for Examining Intermolecular Forces.	JCE	88(7)
Smith, K. C., Nakhle, M. B.	2011	University students' conceptions of bonding in melting and dissolving phenomena.	CERP	12 (2)
Pires, D. X.,	2012	Uma proposta teórica experimental de		17(2)

Pereira, A. S.		sequência didática sobre Interações intermoleculares no ensino de química.	IEC	
Antunes, M., Pacheco, M. A. R.	2012	Design and Implementation of an Educational Game for Teaching Chemistry in Higher Education.	JCE	89(5)
Wang C., Barrow, L. H.	2013	Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity.	CERP	14
Imbraim, S. S., Mendonça, P. C. C., Justi, R.	2013	Contribuições dos Esquemas Argumentativos de Walton para análise de argumentos no contexto do Ensino de Ciências.	RPBEC	13 (1)
Vaz, E. L. S., Sampaio, M. M., Monteiro, M. A. A.,	2013	Determinação do Teor Alcoólico de Vodcas: uma Abordagem Multidisciplinar no Ensino da Física, Química e Matemática	QNEsc	35(4)
Vidal, R. M. B., Melo, R. C.	2013	A Química dos Sentidos – Uma Proposta Metodológica.	QNEsc	35(1)
Rosa, M. M., Silva, P. S., Galvan, F. B.	2014	Ciência Forense no Ensino de Química por meio da experimentação	QNEsc	36(5)
Sendur, G.	2014	Are creative comparisons developed by prospective chemistry teachers evidence of their conceptual understanding?	CERP	15 (4)
Weinhold, F., Klein, R. A.	2014	What is a hydrogen bond? Resonance covalency in the supramolecular domain.	CERP	15
Broman, K., Parchmann, I.	2014	Students' application of chemical concepts when solving chemistry problems in different contexts.	CERP	15
Vega, P. R. D., Garcia-Fadrique, J.	2015	Van der Waals, más que una ecuación cúbica de estado.	EQ	26(3)
Cooper, M. M., Williams, L. C. Underwood, S.	2015	Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study.	JCE	92(4)
Williams, L. C., Cooper, M. M., Underwood, S.	2015	Are Noncovalent Interactions an Achilles Heel in Chemistry Education? A Comparison of Instructional Approaches.	JCE	92(6)
Domínguez, O. J., Toro, M. A., Serrano, E. M.	2015	Enseñanza del Concepto de Fuerzas Intermoleculares em Ingeniería Química: su Relación con Propiedades Medibles.	FU	7(5)
Ayres, C., Arroio, A.	2015	Aplicação de uma sequência didática para o estudo de forças intermoleculares com uso de simulação computacional.	EENCI	10(2)
Barbosa, F. G., Mafezoli, J., Lima, M. A. S.	2015	Interactions: design, implementation and evaluation of a computational tool for teaching intermolecular forces in higher education.	QN	38(10)
Sampaio, M. M., Vaz, E. L. S., Monteiro, M. A. A.	2015	Uma Atividade Experimental para o Entendimento do Conceito de Viscosidade.	QNEsc	37(3)

Principais resultados da 2ª dimensão: aspectos metodológicos

COD	Teórico Empírico	Natureza da pesquisa	Objetivos	Nível de ensino
N1	Empírico	Qualitativa	Compreender a relação entre atividades de modelagem utilizadas no ensino de Química e a argumentação de estudantes de ensino médio. Avaliar a evolução conceitual dos estudantes a partir de propostas didáticas que fomentam a argumentação científica.	Ensino Médio
N2	Empírico	Qualitativa	Ao utilizarmos o DICEWIN na Química Geral temos como objetivo possibilitar aos estudantes a visualização do comportamento microscópico de soluções, para a construção dos conceitos envolvidos no conteúdo de Forças Intermoleculares.	Ensino Superior
N3	Empírico	Qualitativa	Um dos objetivos da pesquisa é o de averiguar como se dá a construção do conhecimento de forças intermoleculares. Favorecer a transição entre os níveis de representação da matéria. Exploratória e explicativa	3ª do Ensino Médio
N4	Empírico	Qualitativa	Utilização de uma simulação computacional para favorecer a compreensão das representações submicroscópicas e macroscópicas, com intuito de auxiliar a elaboração entre o comportamento das partículas e as propriedades observáveis.	2ª série do Ensino Médio
N5	Empírico	Qualitativa/ Quantitativa	Apresentar um instrumento útil, interativo e gratuito software educacional em Português e Inglês, que abrange vários temas de forças intermoleculares. Este software funciona principalmente na interatividade com o objetivo de apoiar os educadores de química e os alunos além livro para melhorar o ensino-aprendizagem sobre os conceitos relacionado com as forças intermoleculares.	Ensino Superior
N6	Teórico/ Proposta de atividade	Qualitativo	O objetivo principal deste trabalho foi apresentar uma atividade experimental simples e de baixo custo, que possibilita ao professor explorar o conceito de viscosidade e sua relação com as forças atrativas que se estabelecem em nível molecular. Além de uma análise qualitativa do processo de escoamento e do conceito de viscosidade, é possível uma abordagem quantitativa que envolve tomada de dados experimentais e sua representação em tabelas e gráficos.	Proposta para o ensino Médio
N7	Teórico		Este artigo tem por objetivo fornecer uma descrição qualitativa dos principais tipos de interações intermoleculares que atuam nos sistemas químicos, e mostrar como o entendimento de tais interações pode auxiliar na racionalização de propriedades macroscópicas observáveis .	Ensino Médio
			O presente artigo possui como objetivo apresentar uma proposta de trabalhar os conceitos de interações intermoleculares - interações de van der Waals, interação	Proposta para o

N8	Teórico		dipolo-dipolo, ligação dehidrogênio, interação molécula-íon, através de experimentos simples, empregando-se materiais poliméricos como papel, sacola plástica, gel para plantas e fraldas descartáveis.	Ensino Médio
N9	Teórico/ proposta de atividade experimental.		Propõe-se uma atividade experimental para ser desenvolvida com alunos do ensino médio, abordando os conceitos de densidade e tensão superficial a partir de uma abordagem multidisciplinar entre a física, química e matemática, a partir da utilização de conceitos fundamentais relacionados com as propriedades intensivas da matéria.	Ensino Médio
N10	Teórico		Oferecer uma fundamentação teórica sobre as interações de um fármaco com o seu sítio de ação no sistema biológico que ocorrem durante a chamada fase farmacodinâmica e são determinadas por forças intermoleculares: interações hidrofóbicas, polares, eletrostáticas e estéricas.	Ensino médio e superior
N11	Empírico	Qualitativo	Desenvolver um projeto que abrangesse o tema ciência forense e, de maneira especial, a química forense como um tema complementar para o ensino, que visa, para isso, à utilização de metodologias diversificadas como a experimentação, a contextualização, a exemplificação, entre outras, para realizar a abordagem de parâmetros utilizados em investigações criminais e relacioná-los aos conteúdos de química	Ensino médio
N12	Empírico	Qualitativo	O presente trabalho se embasa na tentativa de reforçar a proposta pedagógica para o ensino de química, aliando teoria e prática e trazendo uma abordagem contextualizada e interdisciplinar. Assim, optou-se em explorar a química que explica os sentidos (paladar, olfato e visão), tema bastante rico em conceitos fundamentais de química e que pode ser trabalhado com alunos do ensino médio.	Ensino médio
I13	Empírico	Qualitativo	Analisar as concepções alternativas expressas em linguagem gráfica para avaliação da aprendizagem de forças intermoleculares.	Ensino Médio
I14	Empírico	Qualitativo	Este artigo propõe uma sequência de ensino envolvendo eventos derivados do modelo cinético molecular em situações macroscópicas que devem ser explicadas submicroscópicamente pelos alunos; isso lhes requerem pôr em funcionamento suas habilidades modelando de modelagem.	Ensino Médio
I15	Empírico	Qualitativo	Neste artigo analisamos explicações verbais e gráficas desenvolvidas por professores para explicar fenômenos da solubilidade, e imiscibilidade com a formação de uma emulsão de misturas água, álcool e óleo. A análise permite considerar a complexidade dos fenômenos microscópicos como fonte	Formação de professores

			de obstáculos epistemológicos em comunicação entre professores e alunos.	
I16	Empírico	Qualitativo	Utilizar e avaliar a aprendizagens de estudantes universitários que utilizaram ferramentas de simulação, o programa DICEWIN, no tópico Interações Intermoleculares da disciplina de Química Geral I. Na análise dos resultados da utilização do software tentamos abordar estes aspectos de forma conjunta.	Ensino Superior
I17	Empírico	Qualitativo	Analisar as respostas de 525 alunos de Ensino Médio a uma questão de exame de ingresso de uma universidade brasileira que abordou o tópico de dissolução de um composto iônico. Nesta análise, examina-se a compreensão dos fatores envolvidos no processo de dissolução de um composto iônico, tais como solvatação, forças intermoleculares, equilíbrio químico, solubilidade e a representação da transformação química por meio de equação.	Ensino Médio
I18	Teórico		Apresentar experimentos sobre o tingimento de variados tecidos com o objetivo de favorecer a aprendizagem dos conceitos de forças intermoleculares.	Ensino médio e superior
I19	Empírico	Qualitativo	Detectar as principais dificuldades dos estudantes de ensino médio e superior sobre a natureza das forças intermoleculares presentes na reatividade dos compostos orgânicos.	Ensino médio e superior
I20	Teórico		Apresentar um referencial sobre a relação entre as propriedades físicas dos compostos orgânicos e as forças intermoleculares, de modo a estabelecer a relevância na explicação dos valores experimentais.	Ensino Superior
I21	Teórico		Apresentar um referencial teórico sobre as contribuições das forças de Van der Waals no estudo dos gases dentro do contexto histórico da primeira e segunda revolução industrial.	Ensino superior
I22	Empírico	Qualitativo e quantitativo	Examinar a eficácia das atividades baseadas em problemas (PBL) na compreensão de forças intermoleculares dos alunos do 9º ano. E investigar as concepções alternativas sobre o tema, com vistas a modificação das concepções errôneas.	Ensino fundamental (9ºano)
I23	Empírico	Qualitativo	Examinar como os estudantes aplicam a ligação de hidrogênio para determinar as propriedades físicas das moléculas orgânicas	Ensino Superior
I24	Teórico		Apresentar um modelo explicativo que relaciona a estabilidade da dupla hélice do DNA e as forças intermoleculares	Ensino superior
I25	Teórico		Apresentar um modelo que explique em quais momentos as forças de dispersão de London podem ser mais fortes do que a forças dipolo-dipolo, incluindo ligações de hidrogênio.	Ensino médio e superior
			Em um esforço para vincular modelagem molecular e atividade de laboratório, este	

I26	Empírico	Quantitativo	artigo descreve um exercício no qual modelagem molecular é usado em conjunto com a cromatografia de camada fina (TLC). Os estudantes projetam uma sequência de eluições cromatográficas emparelhados, que permitam a verificação de hipótese, ou a sua clara contradição, através dos dados experimentais para tirar conclusões sobre o tipo e a intensidade das forças intermoleculares e a relação dessas forças à estrutura molecular.	Ensino Superior
I27	Teórico		Apresentar uma atividade experimental “dança dos cristais” para ilustrar a ação das forças intermoleculares.	Ensino Superior
I28	Empírico	Quantitativo	Desenvolver uma atividade investigativa com os estudantes dos 1º semestre de Engenharia Química sobre a lei de Raoult e as forças intermoleculares presentes em misturas de líquidos binários, por meio de técnicas avançadas de laboratório.	Ensino superior
I29	Empírico	Qualitativo	Desenvolver experimentos de cromatografia gasosa e destilação em microescala para ilustrar a forma de como a estrutura da molécula afeta a sua Interações e, portanto, suas propriedades físicas.	Ensino superior
I30	Empírico	Qualitativo	Este artigo apresenta uma experiência de laboratório simples, que é projetado para melhorar a compreensão da ligação de hidrogênio inter- e intramolecular dos alunos, demonstrando o efeito comparativa destes fenômenos em algumas propriedades químicas e físicas.	Ensino superior
I31	Empírico	Qualitativo	Desenvolver um módulo de química ambiental que pode ser usado em escolas ou cursos de graduação, visando relacionar as estruturas químicas, em nível atômico molecular e as propriedades com o comportamento macroscópico de produtos químicos orgânicos com relevância ambiental, como pesticidas, PCB e solventes. O módulo introduz os conceitos de forças intermoleculares, polaridade, e para explicar fenômenos complexos como os transportes ambientais e biomagnificação de xenobióticos (substâncias químicas feitas pelo homem).	Ensino médio e superior
I32	Empírico	Qualitativo	Desenvolver um experimento sobre forças intermoleculares para alunos de Química Geral. O experimento integra medições baseadas viscosimetria tradicionais com análise cromatográfica moderna e utilização de modelos moleculares baseados em computador. Os alunos realizam cromatografia em fase gasosa (GC), análise de misturas de n-alcanos e amostras que simulam evidência da cena do crime, investigando se as misturas líquidas podem ser separadas rapidamente nos seus componentes baseados nos conceitos forças	Ensino superior

			intermoleculares.	
I33	Teórico	Dados Quantitativos	Apresentar os resultados de um experimento com embasamento teórico na energia das interações intermoleculares de soluções orgânicas, por meio do ciclo de Bom-Haber e a energia de rede de cristais.	Ensino superior
I34	Teórico	Dados Quantitativos	Apresentar funções potenciais simples, com o objetivo de comparar e contrastar várias interações intermoleculares. Em particular, interações dipolo-dipolo, interações dipolo-dipolo induzidas, e interações de dispersão de London são exploradas.	Ensino Superior
I35	Empírico	Qualitativo	Apresentar e desenvolver uma sequência de experimentos e exercícios sobre o impacto das forças intermoleculares sobre as separações químicas feitas por cromatografia gasosa e destilação, com o objetivo de favorecer a aprendizagem de conceitos da química para alunos de Química geral. Utilizar resultados computacionais simultaneamente com dados experimentais para compreender as propriedades moleculares.	Ensino Superior
I36	Teórico		Apresentar uma analogia sobre as forças de atração de London.	Ensino superior e Médio
I37	Teórico	Qualitativo	Apresentar o referencial teórico que relaciona a revelação de impressões digitais com as forças de dispersão de London, com vistas a formação teórico científica dos conceitos básicos de química, tais como forças intermoleculares.	Ensino médio e superior
I38	Empírico	Qualitativo	Apresentar o desenvolvimento de um software amplamente disponível, user-friendly como ferramenta para educadores químicos para ajudar os alunos a investigar e visualizar forças intermoleculares. Esta nova ferramenta é simulação molecular dinâmica (MDS). MDS prevê o movimento de espécies químicas com base na aplicação de regras empíricas e uma análise física das forças que atuam entre as espécies. Estes movimentos podem ser exibidos em forma gráfica.	Ensino superior e médio
I39	Teórico	Qualitativo	Apresentar a teoria da adsorção e coesão, bem como as forças intermoleculares envolvidas, por meio da contextualização destes conteúdos com a temática vinho: Por que as bebidas alcoólicas têm "pernas"?	Ensino superior
I39	Teórico	Qualitativo	Apresentar a teoria da adsorção e coesão, bem como as forças intermoleculares envolvidas, por meio da contextualização destes conteúdos com a temática vinho: Por que as bebidas alcoólicas têm "pernas"?	Ensino superior
I40	Empírico	Qualitativo	Apresentar e desenvolver um jogo educativo sobre geometria molecular, polaridade e força intermolecular para estudantes de engenharia em uma cadeira de química geral.	Ensino superior
			Investigar as concepções dos estudantes sobre IMFs (isto é, ligações de hidrogênio,	

I41	Empírico	Qualitativo	interacções dipolo-dipolo, e de dispersão de London forças) solicitando aos estudantes universitários de química geral para ambos descrevem sua compreensão por escrito e para desenhar representações de IMFs. Usar os dados a partir dessas investigações para desenvolver uma atividade de ensino e aprendizagem que irá melhorar compreensão deste importante construto.	
I42	Empírico	Qualitativo	Investigar longitudinalmente as concepções dos estudantes de química geral e orgânica sobre IMFs (isto é, ligações de hidrogénio, interacções dipolo-dipolo, e de dispersão de London forças).	
I43	Empírico	Qualitativo	Determinar comparações criativas (analogias) de professores futuros de Química sobre os conceitos básicos de forças inter e intramoleculares, e para descobrir a relação entre estes criativo comparações e compreensão conceitual dos futuros professores.	
I44	Empírico	Qualitativo	Investigar concepções de alunos como a ligação está envolvida em ambos os processos de fusão e dissolução, bem como para investigar ideias dos alunos de forças específicas envolvidas na fusão e dissolução. explicações nível submicroscópicas para o fusão de quatro materiais (sal, giz, açúcar, e manteiga), e para a mistura destes solutos nas dois solventes (água e óleo de cozinha) foram coletados.	
I45	Teórico	Qualitativo e quantitativo	Apresentar o referencial teórico sobre as ligações de hidrogênio, abordando as implicações conceituais e pedagógicas mais amplas de recentes recomendações do União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) sobre a redefinição da ligação de hidrogênio.	Ensino superior
I46	Empírico	Qualitativo	O objetivo do estudo foi explorar quadros conceituais dos modelos de estrutura atômica dos alunos e variações periódicas, ligação química e força intermolecular e polaridade, e como estes quadros conceituais podem influenciar a qualidade de explicações e capacidade de evolução das representações químicas.	Ensino superior
I47	Empírico	Qualitativo e quantitativo	Investigar os modelos dos alunos do ensino secundário para as forças intermoleculares e suas habilidades para usá-los para prever os pontos de ebulição relativas de compostos orgânicos.	Ensino médio
I48	Empírico	Qualitativo	Apresentar e desenvolver um software de visualização molecular com o objetivo de favorecer a aprendizagem das forças intermoleculares envolvidas em macromoléculas biológicas.	Ensino médio e superior
I49	Empírico	Qualitativo	Desenvolver uma abordagem baseada em contextos para conectar a ciência com a vida dos alunos e fornecer contribuições para a	Ensino médio

			aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares.	
I50	Empírico	Qualitativo e quantitativo	Desenvolver um modo interativo de ensino usando a visualização auxiliada por computador e modelagem.	Ensino superior
I51	Empírico	Qualitativo e quantitativo	Apresentar e desenvolver experimentos de laboratório para facilitar a compreensão do conceito de forças intermoleculares que apresenta várias dificuldades quanto requerendo a compreensão dos processos que ocorrem a nível molecular.	Ensino superior

Principais resultados da 3ª dimensão: Base teórica, análise do conteúdo e resultados das pesquisas

<i>3ª dimensão: Base teórica, análise do conteúdo e resultados das pesquisas</i>			
COD	Base teórica	Metodologia empregada para abordar o conteúdo	Conteúdo Abordado
N1	Teoria sobre esquemas argumentativos	Sequências didáticas fundamentadas em modelagem, Atividades Baseadas em Problemas.	Concepções e Esquemas argumentativos sobre FI.
	<p align="center">Principais resultados</p> <p>Algumas concepções alternativas: “Se a temperatura é elevada, os átomos estão bem ligados, a ligação entre eles é forte”; Nossa análise apontou a ocorrência de 118 argumentos, que puderam ser classificados em 27 esquemas argumentativos. Estes eram dos tipos conhecimento pessoal, regra e exceção e raciocínio. Estes resultados parecem indicar que a participação em atividades de modelagem influenciou na argumentação científica dos estudantes, pois favoreceu o desenvolvimento de conhecimentos coerentes com os modelos científicos relacionados às ligações químicas e interações intermoleculares, assim como o desenvolvimento de raciocínios comuns da prática científica (causalidade, lançamento de hipóteses e busca de dados para comprová-las, escolha entre teorias rivais, comparações entre casos).</p>		
N2	Construtivismo	Ensino tradicional aliado à utilização das TICs, software DICEWIN.	Utilização de ferramentas computacionais para o ensino de FI.
	<p>Principais resultados</p> <p>Indicam que os alunos têm um ganho considerável com a utilização deste tipo de ferramenta que permite a eles não apenas visualizar e modelar o comportamento cinético-molecular dos sistemas discutidos, como também se tornam capazes de aprender a utilizar diferentes representações com certa competência. Dificuldade dos alunos em representar o comportamento das espécies presentes em uma lâmpada de argônio, na água a 25oC e em um cristal de cloreto de sódio dissolvido em água. Nesta tarefa, a grande maioria dos estudantes utiliza representações macroscópicas e quando utiliza representações microscópicas, as forças de interação não são consideradas na representação. Estes resultados parecem mostrar que os estudantes não conseguem, a partir da análise de eventos reais, utilizar os conceitos apresentados em classe para resolver as questões propostas.</p>		
N3	Construtivismo, teorias de Ausebel	Sequências didáticas e atividades experimentais (demonstrativas), utilização de temáticas, corantes e pigmentos.	Ensino de FI por meio da contextualização com o tema corantes. Concepções alternativas sobre FI
	<p>Principais resultados</p> <p>Este trabalho identificou as seguintes concepções alternativas: <i>álcool que estava na gasolina passou para a água, pois ele [oálcool] sentiu atraído pela água. Porque a água tem bastante força polar e a gasolina tem parte de sua estrutura polar e a regra básica diz que semelhante se misturam.</i> Por meio da pesquisa realizada, foi possível verificar, que a abordagem de temas regionais em sala de aula, pode despertar no aluno o interesse pela disciplina, pois geralmente os livros didáticos apresentam temas que não são contextualizados com a região em que muitos alunos estão inseridos.</p>		
	Construtivismo/teoria dos modelos mentais	Sequências didáticas por meio da utilização de TICs, ferramentas de	Concepções sobre FI. Propriedades da matéria por

		simulação computacional.	meio da compreensão das FI.
	Principais resultados		
N4	De acordo com os resultados houve melhora nas representações macroscópicas e, principalmente, nas representações submicroscópicas, denotando que houve melhora na elaboração conceitual, pois quando há mudança no registro pictográfico, possivelmente o aluno reorganizou seu modelo mental aprimorando-o e isto foi externalizado na sua representação. Consideramos que a inserção do recurso multimídia favoreceu a elaboração de conceitos sobre ligações intermoleculares para a maioria dos alunos, pois os resultados ao dialogarem com os referenciais teóricos, mostram que houve melhora na elaboração conceitual, pois quando há mudança no registro pictográfico, possivelmente o aluno reorganizou seu modelo mental, aprimorando o mesmo e isto foi externalizado na sua representação. Muitas dificuldades em distinguir as representações simbólicas e microscópicas		
	Construtivismo	Utilização de TICs, ferramentas de simulação computacional relacionados a ampla gama de situações cotidianas onde as FI estão presentes.	Concepções sobre FI. Dispersão de London, Ligação de hidrogênio, dipolo-dipolo, íon dipolo.
	Principais resultados		
N5	Este estudo detectou as seguintes concepções alternativas: <i>estudantes confundem a energia associada com as forças intermoleculares com a energia necessária para quebrar uma ligação dentro das moléculas. Os estudantes possuem a compreensão errônea que as partículas crescem quando o se passa do estado sólido para o estado líquido e que o processo de ebulição, as moléculas de água são quebradas e as bolhas observadas são efeitos hidrogênio e oxigênio.</i> A utilização de TICs, tais como software, vídeos, animações e tutoriais foram produzidos e estão disponíveis na internet como uma alternativa complementar à estáticos recursos de aprendizagem presentes em livros.		
	Teoria para favorecer a construção do conhecimento em LH.	Atividade experimental	Ligação de hidrogênio
	Principais resultados		
N6	Nesse contexto, é apresentada uma proposta simples que descreve com detalhes a maneira como a atividade experimental deve ser realizada e como a análise dos resultados pode ser orientada, de modo a desencadear discussões importantes com os alunos sobre o conceito de viscosidade		
	Teorias sobre força intermoleculares	Revisão sobre os tipos de interações intermoleculares.	Descrição termodinâmica das forças intermoleculares, dipolo-dipolo, interação de dispersão e ligação de hidrogênio.
	Principais resultados		
N7	O modelo eletrostático é o mais adequado para explicar os diferentes tipos de interações intermoleculares/ A compreensão das forças intermoleculares, sob uma ótica microscópica, é extremamente importante para entender as propriedades macroscópicas dos sistemas químicos.		
	Teorias sobre forças intermoleculares	Proposta de atividades experimentais (demonstrativas) para o ensino de forças intermoleculares.	interações de van der Waals, interação dipolo-dipolo, ligação de hidrogênio, interação molécula-íon
	Principais resultados		
N8	As interações intermoleculares e como estas afetam as propriedades das substâncias e dos materiais torna-se um tema importante e que deve ser trabalhado de modo que os alunos percebam a relação entre a estrutura molecular e as propriedades macroscópicas da substância ou material em questão. Interações intermoleculares são as forças de atração, de natureza eletrostática, que mantêm as moléculas unidas nos estados sólido e líquido.		
	Teoria sobre as propriedades intensivas da matéria e multidisciplinaridade.	Proposta de atividade experimental (demonstrativas) multidisciplinar entre a química, física e matemática, utilizando a determinação do teor alcoólico de vodcas.	Interações devan der Waals, interação dipolo-dipolo, ligação de hidrogênio, interação molécula-íon por meio da determinação do teor alcoólico das vodcas
	Principais resultados		
N9	As atividades experimentais aqui propostas oferecem oportunidades para a abordagem e articulação de conceitos básicos de forma multidisciplinar. O método adotado é simples e rápido. Os materiais são comuns num laboratório e os reagentes são baratos, de fácil aquisição e descartar. O tema ainda torna possível uma contextualização social pela própria problemática que representa o consumo de bebidas		

	alcoólicas na adolescência. Além disso, é possível favorecer a realização de mediação semiótica de conceitos, símbolos, equações e gráficos, contribuindo para que os estudantes possam transitar em os níveis de representação da matéria.		
N10	Revisão sobre forças intermoleculares e sistemas biológicos	Revisão bibliográfica sobre interações de um fármaco com o seu sítio de ação no sistema biológico que ocorrem durante a chamada fase farmacodinâmica e são determinadas por forças intermoleculares: interações hidrofóbicas, polares, eletrostáticas e estéricas.	Interações intermoleculares (Ligação de hidrogênio, dispersão) relacionadas aos fármacos.
	<p>Principais resultados</p> <p>Os autores destacam a interdisciplinaridade como ferramenta para o ensino, característica da química medicinal e tornam evidentes que a compreensão das razões moleculares da atividade biológica depende da completa caracterização das propriedades físico-químico-estruturais da micromolécula que codificam uma mensagem, que será lida após atingir um endereço específico: a biomacromolécula receptora. Acentuaram-se também as propriedades estereoquímicas das moléculas e dos fragmentos moleculares e sua importância sobre a formação de interações entre os ligantes e o sítio receptor.</p>		
N11	Construtivismo	Atividades experimentais (demonstrativas) e estudos de casos aliados a temática ciência forense.	Forças intermoleculares, experimentos de cromatografia e revelação da impressão digital.
	<p>Principais resultados</p> <p>O uso da experimentação associada à ciência forense mostrou-se uma importante ferramenta didática para ser utilizada como facilitadora no processo de ensino-aprendizagem, bem como para a inserção dos conteúdos na disciplina de química no ensino médio. A metodologia aplicada auxiliou o desenvolvimento cognitivo dos alunos. A proposta de ensino mostrou-se significativa e eficaz para a compreensão dos conteúdos abordados, uma vez que permeou a relação entre a química e a realidade do aluno. Além de facilitar o ensino, foi relevante para fazer com que os estudantes refletissem sobre os eventos que lhes foram apresentados, percebendo como a química está inserida não apenas em investigações criminais, mas nas diversas situações que encontramos em nosso cotidiano. A ciência forense representou um forte instrumento metodológico, o qual visou promover a educação científica aliada à formação crítica e consciente dos estudantes. A atividade procurou disponibilizar as ferramentas básicas para construção do conhecimento e, a partir de então, cada aluno se tornou responsável pelos seus atos e por traçar seu perfil como aluno e como cidadão.</p>		
N12	Humanista	Atividades experimentais (demonstrativas) aliados a química dos sentidos. As autoras abordam sobre a interdisciplinaridade e contextualização, porém não fica evidenciado no texto como ocorreu.	Forças intermoleculares (ligação hidrogênio, Forças dipolo-dipolo e Van der Waalls);
	<p>Principais resultados</p> <p>No que diz respeito ao aprendizado, houve um aumento no número de alunos que concordam que o aprendizado da disciplina seria mais efetivo se os conceitos fossem abordados com contextualização. A química que estuda os sentidos é, de fato, um tema que promove interesse e motivação na aprendizagem. O conhecimento científico contido nesse tema abrange áreas de ensino que se comunicam no intuito de explicar os processos sensitivos que constituem a visão, o olfato e o paladar. Além dos conhecimentos de química, biologia, física e matemática, que compõe a área Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, tem-se a participação dos conhecimentos de história, geografia e filosofia. Vinculou-se à ação integradora das disciplinas ao método pedagógico da contextualização e interdisciplinaridade, atendendo, dessa forma, as recomendações dos PCNEM.</p>		
	Concepções alternativas sobre as forças intermoleculares/ Sistema de Processamento de informações (SPI)	Demonstração de uma sequência de 10 experimentos simples para que os estudantes, em seguida explicarem o fenômeno ocorrido, através de textos, esquemas e desenhos sobre os sistemas formados, tipos de partículas e as interações intermoleculares envolvidas.	Ligação de hidrogênio, forças de London, dipolo-dipolo, dipolo induzido, íon dipolo.
<p>Principais resultados</p> <p>Nos últimos 30 anos de investigação em aprendizagem das ciências tem mostrado que os estudantes</p>			

I13	<p>comumente constroem explicações e fazem previsões das quais são diferentes das aceitas pela comunidade científica. A Química é uma disciplina científica complexa que exige constantemente que os estudantes transitem entre os níveis macroscópicos e simbólicos para explicar os fenômenos em estudo. Utiliza uma linguagem verbal com um vocabulário específico cujo significados podem ser de difícil compreensão para estudantes do ensino médio. (Por exemplo, enlaces iônicos, covalentes, metálicos; puentes de hidrógeno, fuerzas de London, orbital , nuvens electrónicas, hibridizaciones, resonancia, etc.). (INSERIR FIGURA, pg. 6).</p> <p>Concepções errôneas relacionadas a mesma representação gráfica para todos os tipos de união, tanto interação como ligação. O autor defende que existe códigos gráficos para demonstrar ligações covalentes Inter atômicas ou ligações iônicas em um sólido, e linhas pontilhadas para sinalizar a existência de ligação de hidrogênio, entretanto, não existem códigos gráficos explícitos para demonstrar os outros tipos de força. Esta pode ser a fonte de um obstáculo os estudantes que aprendem generalizar a ligação entre átomos como um símbolo de outras uniões, tais como os resultantes de forças intermoleculares. A omissão de códigos específicos para representação de forças intermoleculares, durante a aprendizagem, provoca generalizações errôneas na representação qualquer tipo de união entre partículas. Na química o estudante precisa transitar entre os níveis de representação, e isso é um obstáculo para a representação microscópica dos fenômenos. (INSERIR FIGURA, pg. 8). Os autores afirmam que a metodologia apresentada auxilia a reconhecer as concepções alternativas que os estudantes possuem, não são oriundas apenas ideias erradas ou conceituais na compreensão do nível microscópico da química, mas também do modo que o ensino desses conceitos é transposto, desvalorizando os níveis de representação da matéria.</p>		
I14	Teoria sobre modelos mentais	Modelagem e sequência didática.	Ligação de hidrogênio
Principais resultados			
<p>Os autores detectaram que a capacidade de modelagem (Transitar entre os níveis de representação) depende da existência ou não de explicações prévias por parte do docente. Este evidencia leva a reflexão sobre como o ensino (estilos) de ciências podem favorecer a construção do conhecimento. Os autores destacam que para uma aprendizagem sólida, é necessário que os estudantes consigam realizar atividades de modelagem, que as suas representações mentais tenham explicações em nível cinético molecular, apresentando a heurística microscópica. Em particular, destaca-se que a capacidade de modelagem de estudantes em criar explicações sobre os fenômenos macroscópicos submicroscópicas corretamente é possível.</p>			
I15	Teoria sobre modelos mentais	Curso de formação para professores. Atividades para desenvolver modelos explicativos sobre FI.	Ligação de hidrogênio, Forças de London, Dipolos induzidos.
Principais resultados			
<p>O ensino do modelo de forças intermoleculares é um tema central para a compreensão das propriedades físico química da matéria. Compreender as explicações microscópicas sobre os estados de agregação e suas mudanças, solubilidade, insolubilidade, miscibilidade parcial, etc. é a base para aprender as propriedades de muitos materiais, bem como operar sobre eles (extração, recristalização, destilação, cromatografia). Este estudo detectou a as seguintes concepções alternativas: Os estudantes fazem generalizações do tipo que asseguram que "qualquer composto hidrogênio pode formar ligações de hidrogênio.</p>			
I16	Construtivismo	Ensino tradicional aliado à utilização das TICs, software DICEWIN.	Forças íon-dipolo, forças dipolo-dipolo, forças de London e Ligações de Hidrogênio
Principais resultados			
<p>Os autores afirmam que é preciso favorecer com que os estudantes aprendam a utilizar o modelo cinético molecular da matéria como instrumento interpretativo dos fenômenos. Um dos principais objetivos do ensino de química: os alunos devem aprender a interpretar os fenômenos químicos em termos do arranjo e movimento de moléculas e átomos. Neste processo de compreensão do conhecimento químico estão envolvidos três diferentes níveis de representação: macroscópico, microscópico e simbólico (Johnstone, 1982, 1993). No nível macroscópico os fenômenos são observáveis e no microscópico o processo químico é explicado pelo arranjo e movimento de moléculas, átomos ou partículas subatômicas. A química simbólica é expressa por símbolos, números, fórmulas, equações e estruturas. Muitos estudantes possuem dificuldades em compreender as representações em química. As compreensões microscópica e simbólica são especialmente difíceis para os estudantes porque são invisíveis e abstratas e o pensamento dos alunos é construído sobre a informação sensorial. Além disso, os estudantes não estabelecem relações apropriadas entre o nível macro e o microscópico e</p>			

	<p>ainda, muitos que tenham conhecimento conceitual e habilidade de visualizar, são incapazes de transladar de uma dada representação química a outra. O uso de modelos e ferramentas tecnológicas para promover a aprendizagem química parece permitir aos estudantes visualizar o comportamento cinético-molecular de sistemas, assim como possibilitar que eles sejam capazes de aprender a utilizar diferentes representações com certa competência. Os resultados também indicam que o uso de simulações computacionais produz aprendizagem conceitual e apropriação representacional (simbólica e microscópica) por parte do estudante.</p>		
I17	<p>Concepções alternativas sobre forças intermoleculares</p>	<p>Análise de uma questão de exame de ingresso de uma universidade brasileira que abordou o tópico de dissolução de um composto iônico.</p>	<p>Forças intermoleculares</p>
	<p>Principais resultados</p> <p>O estudo encontrou as seguintes concepções alternativas: Das 525 respostas analisadas, 321 confundiram interações intermoleculares com as ligações químicas (iônica, covalente e metálica). Ressaltando em muitas respostas que a interação de hidrogênio é uma ligação covalente.</p>		
I18	<p>Teoria sobre as forças intermoleculares presentes nos corantes e no fenômeno de tingimento.</p>	<p>Atividades experimentais aliadas à temática corantes e tingimentos.</p>	<p>Ligação de hidrogênio, interação de Van der Waals</p>
	<p>Principais resultados</p> <p>A melhor compreensão sobre a natureza das forças intermoleculares pode ser alcançada por meio da experimentação aliada à temática corantes e tingimentos.</p>		
I19	<p>Construtivismo</p>	<p>Triangulação Inter metodológica e níveis combinados por meio da teoria do espaço do conhecimento (TEC)</p>	<p>Ligação de hidrogênio, dipolo-dipolo, íon-dipolo, forças de London.</p>
	<p>Principais resultados</p> <p>Os obstáculos identificados estão relacionados com passagem de um estado de agregação para outro que são, por exemplo, a confusão sobre energia associada com as forças intermoleculares, que corresponde ao nível de organização das substâncias, com a energia necessária para quebrar uma ligação dentro de uma molécula, que pertence ao nível anterior de organização. Outro exemplo, o que explica a confusão dos alunos entre os diferentes níveis de organização da matéria, é associar a interação dipolo-dipolo correspondente ao nível de organização das substâncias com a polaridade da ligação que corresponde ao nível molecular. As dificuldades mencionadas levam nossos alunos a fazer simplificações, como considerar apenas o número de forças e não a intensidade do mesmo, ou até mesmo ignorar a existência de outras forças para a possível interação ligação de hidrogênio. Os estudantes confundem a polaridade da ligação com a polaridade da molécula, dificultando a aprendizagem correta das FI. Respostas dos alunos associados ligação de hidrogênio como uma única força presente tanto entre as moléculas de água e entre amônia. Os autores alertam que a polaridade da ligação é usada recorrentemente a partir de uma abordagem microscópica e polaridade das substâncias a partir de uma perspectiva empírica, contribuindo para que os alunos não estabeleçam a relação entre eles, finalmente, confundindo a polaridade da ligação com a polaridade molecular. Conhecimento da ligação de hidrogênio em água e amônia, mas significativamente menor no desempenho forças remanescentes nos leva a pensar que o problema identificado em nossos estudantes universitários é devido à crença de que a ligação de hidrogênio sempre prevalece. Esta concepção alternativa, nem sequer mencionado na literatura, seria reforçada por exemplos simples inorgânicos geralmente analisados para iniciar o desenvolvimento do assunto. Por este motivo sugerimos, para abordar a questão a um nível introdutório, não provocar os alunos a construir generalizações a partir de exemplos simples, tais como água, amônia, ácido fluorídrico, que pode atuar como obstáculos epistemológicos.</p>		
120	<p>Teoria sobre as forças intermoleculares.</p>	<p>Atividades experimentais de verificação</p>	<p>Ligação de hidrogênio e força de Van der Waals (dipolo-dipolo, forças de London)</p>
	<p>Principais resultados</p> <p>A influência de fatores estéricos nas forças de London é de importância decisiva para o ponto de ebulição.</p>		
I21	<p>Teoria sobre a interação de van der Waals</p>	<p>Aporte teórico sobre influência da teoria de van der Waals na compreensão do estudo dos gases.</p>	<p>Forças de Van der Waals</p>
	<p>Principais resultados</p> <p>A equação de estado de Van der Waals é uma evidência de validação na relação entre a temperatura e a</p>		

	energia cinética. O legado de Vander Waals, além da famosa equação cúbica de estado, entra o comportamento da tensão superficial, ponto crítico e especialmente os modelos da teoria de estados correspondentes.		
	Construtivismo e teoria das concepções alternativas.	Atividade baseada em problemas (PBL)	Dipolo-dipolo, forças de dispersão de London e ligação de hidrogênio.
I22	<p>Principais resultados</p> <p>Apesar de existirem várias pesquisas relacionadas as concepções alternativas sobre as ligações químicas (iônica, covalente e metálica), as forças intermoleculares têm recebido pouca atenção da educação química, dificultando a aprendizagem de muitas propriedades físicas da matéria por partes dos estudantes, tanto de nível básico, como superior. Uma vez que o tópico de FI é muito importante para compreensão dos fundamentos da química. Este estudo encontrou as seguintes concepções alternativas: As ligações intermoleculares são mais fortes que as ligações intramoleculares (iônica, covalente e metálica); forças intermoleculares estão ausentes em substâncias moleculares polares: como a água; Forças intermoleculares estão dentro de uma ligação covalente; Ligações intramoleculares quebram na mudança de estado, ao invés de forças intermoleculares; Existem forças intermoleculares fortes em uma rede covalente contínua; As forças intermoleculares são influenciados pela gravidade; As forças intermoleculares são responsáveis pela reatividade química; Elétrons desemparelhados não são necessários para a ligação de hidrogênio. Por causa das concepções alternativas comuns sobre este tema, optamos por estudar 'As forças intermoleculares' ao examinar a eficácia do PBL em relação ao ensino tradicional. Existem ligações de hidrogênio entre todas as moléculas que contêm hidrogênio. Por exemplo, os estudantes acreditam que pode ocorrer ligação de hidrogênio tanto na molécula de amônia e metano, justificando que se existem átomos de hidrogênio no NH₃ e na CH₄, desta forma, irá ocorrer a ligação de hidrogênio nas duas moléculas. Além disso, justificam a força da interação de hidrogênio devido a quantidade de hidrogênios presentes nas moléculas, alegando que as moléculas de NH₃ a ligação de hidrogênio será entre mais fraca do que entre as moléculas de CH₄. As atividades baseadas em problemas favorecem a capacidade de aprender, pensar criativamente e criticamente, tomar decisões, resolver problemas, contribuindo para a construção do conhecimento por parte dos estudantes.</p>		
I23	Teoria sobre a ligação de hidrogênio	Deteção das concepções alternativas por meio da aplicação de exercícios e entrevistas.	Ligação de hidrogênio
	<p>Principais resultados</p> <p>Os autores afirmam que a ligação de hidrogênio é um princípio básico que possui aplicação e todas as áreas da química. Desta forma, estudantes de química precisam compreender e analisar situações em que a LH ocorre, a fim de entender os mecanismos das reações, reatividade dos compostos orgânicos, propriedades físicas, solubilidade e alguma informação de espectroscopia. Os autores também detectaram que os livros de Química geral apresentam muitas variações sobre a explicação da ligação de hidrogênio, tornando difícil para que os alunos consigam entender a relação entre a química geral e a química orgânica, prejudicando a capacidade dos alunos em analisar situações onde as LH influencia as propriedades físicas dos compostos orgânicos. (Pg. 2). A aquisição de uma compreensão de um conceito complexo, tal como ligação de hidrogênio, e ser capaz de aplicar esse conceito para uma variedade de situações não é uma tarefa trivial. Os autores defendem que para a aprendizagem da ligação de hidrogênio, os estudantes precisam compreender como as ligações intramoleculares se diferem das intermoleculares, precisam compreender a eletronegatividade (propriedade periódica), quanto a distribuição de elétrons na molécula, bem como a ideia de polaridade da ligação precisam ser bem compreendidos. Os autores também afirmam que concepções errôneas sobre o comportamento atômico molecular ou a mera memorização das propriedades periódicas, pode dificultar a explicação sobre as propriedades físicas, como pontos de fusão, ebulição, solubilidade de compostos orgânicos ou até mesmo de determinadas características de espectros de RMN.</p>		
I24	Teoria sobre as forças intermoleculares presentes na molécula de DNA.	Modelos (modelos de caixas para explicar a estabilidade da dupla hélice do DNA por meio da ação das FI	Ligação de hidrogênio, forças de dispersão e interações iônicas.
	<p>Principais resultados</p> <p>A dupla hélice do DNA oferece um belo e fácil exemplo para entender a ação das forças intermoleculares para determinar a estrutura macromolecular.</p>		
	Teoria sobre a força de dispersão de London e ligação de Hidrogênio	Contextualização das FI, por meio de um exemplo cotidiano (batata frita) sobre as possibilidades da força de dispersão de London serem mais fortes do que a	Dispersão de London, ligação de hidrogênio

		ligação de hidrogênio.	
	Principais resultados		
I25	Os autores afirmam que não se pode generalizar sobre a intensidade das forças intermoleculares, uma vez que existem exemplos em que a dispersão de London é mais forte, por exemplo que as ligações de hidrogênio. "É possível que as forças de dispersão em uma determinada substância a ser mais forte do que a ligação de hidrogênio?" Esta é uma pergunta muito pertinente, pois muitos estudantes pensam "fraco" quando se pensa em forças de dispersão e "Mais forte" quando se pensa em ligações de hidrogênio. Sem levar em conta o efeito aditivo das forças dispersão entre as moléculas grandes. O ponto, embora numa base individual, as forças de dispersão são consideravelmente mais fracas do que ligações de hidrogênio, é o aditivo efeito de muitas forças de dispersão entre as moléculas grandes que faz com que as moléculas tenham uma maior atração intermolecular e, portanto, um ponto de ebulição mais elevado que a água. Os autores dão o seguinte exemplo: O processo de fritura de batatas fritas somente é possível por que as forças de dispersão de London no óleo de cozinha são mais fortes do que as ligações de hidrogênio na água da batata. Desta forma, o óleo possui cadeias de hidrocarbonetos de peso molecular elevado, permitindo que o óleo fique abaixo do ponto de ebulição, a uma temperatura que está acima do ponto de ebulição da água, tornando a bata desidratada, e que juntamente com a caramelização parcial do amido, produz a delícia crocante maravilhosa que chamamos de "batatas fritas.		
I26	Construtivismo	Modelagem computacional e atividades experimentais de verificação e investigativas. (Software de modelagem molecular PC Spartan-Plus)	Utilização dos dados computacionais para planejar um experimento de TLC para classificar o conjunto de compostos de acordo com a sua força de atração intermolecular
	Principais resultados		
	A metodologia empregada é muito eficiente no sentido de proporcionar aos estudantes uma experiência direta das relações estrutura-propriedades, além de ser uma metodologia diferenciada que coloca o aluno no centro do processo de aprendizagem.		
I27	Teoria sobre forças de dispersão de London	Atividade experimental demonstrativa - Nesta demonstração, cristais naftaleno formam-se numa solução de acetona e dançam sobre em uma forma animada.	Força de dispersão de London
	Principais resultados		
	Não apresenta resultados significativos.		
I28	Construtivismo (aprendizagem por descoberta)	Atividades experimentais investigativas	Dispersão de London, dipolo-dipolo e ligação de hidrogênio
	Principais resultados		
	As atividades experimentais investigativas é uma bela ferramenta para favorecer a aprendizagem dos conceitos estudados, além de contribuir para o desenvolvimento de habilidades, tais como: resolução de problemas, tomada de decisão, pesquisa e trabalho em grupo.		
I29	Construtivista	Atividades experimentais de verificação	Forças intermoleculares (não especificadas)
	Principais resultados		
	Os dados obtidos por meio da cromatografia gasosa e a destilação em microescala ilustram a forma como a estrutura de uma molécula afeta a sua Interações e, portanto, suas propriedades físicas. A utilização das atividades propostas, destilação e cromatografia gasosa contribuiu significativamente na compreensão entre a relação da estrutura molecular, forças intermoleculares e os pontos de ebulição.		
I30	Construtivismo	Atividades experimentais investigação	Ligação de hidrogênio
	Principais resultados		
	Os autores afirmam que deve ensinar as forças intermoleculares pela sua natureza eletrostática, os alunos devem entender que a força intermolecular dentro de uma determinada substância depende da distância intermolecular e da velocidade das moléculas. Ao alterar a pressão (Distância entre as moléculas) ou temperatura (velocidade das moléculas) que pode converter uma substância física de um estado para outro. As forças intermoleculares são mais fracas na fase gasosa e mais forte no estado sólido. Muitos estudantes, apesar de saber definir as ligações de hidrogênio (memorização do conceito), não conseguem aplicar adequadamente o conhecimento da ligação de hidrogênio nas propriedades e estrutura da matéria, como por exemplo a influência da ligação de hidrogênio em RMN e IV.		
	Construtivismo Educação	Atividades experimentais, estudos de	Forças dipolo-dipolo, Ligação

I31	ambiental	casos, TICs e contextualização por meio da educação ambiental.	de hidrogênio forças íon-dipolo e dispersão de London
	Principais resultados		
Os autores afirmam que é muito importante que os estudantes compreendam a natureza molecular por trás das questões ambientais, pois seriam capazes de tomar decisões informadas para si e para a suas comunidades. Por esta razão, é importante para desenvolver a educação ambiental nos cursos de graduação e para estudantes do ensino médio para aumentar a compreensão a nível molecular das questões ambientais entre o público em geral. Desenvolvimento das relações entre macroscópica e as interações em nível molecular é um dos desafios fundamentais da educação química. As forças intermoleculares são o ponto fundamental para a compreensão de diversos fenômenos do cotidiano e também da química ambiental. Desta forma, os cursos, tanto em nível médio, como superior, devem abordar estes conceitos e propor estratégias que favoreçam o entendimento em nível atômico molecular, para compreender os fenômenos macroscópicos que nos rodeiam, como exemplo, a capacidade de uma substância tóxica para orgânica atravessar a bicamada lipídica de uma membrana não polar é diretamente relacionada com a polaridade da substância, e conseqüentemente com as forças intermoleculares.			
I32	Construtivismo	Modelos moleculares computacionais, Atividades experimentais investigativas e contextualização por meio da investigação criminal.	Forças de London, interações dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio
	Principais resultados		
Esta experiência demonstra como as diferenças das forças intermoleculares permitem que os químicos separem e identifiquem misturas. Como parte desta experiência, os alunos realizam análises qualitativa de GC de misturas de n-alcenos e identificar um líquido, por exemplo, que simula um uma prova coletada em uma cena de incêndio criminoso, desta forma, a tarefa de resolver um "crime" mantém os alunos interessados e centrados na experiência; este tipo de determinação de misturas inflamáveis é usado em laboratórios de química forense e em outras experiências de laboratório. A separação dos n-alcenos e de "amostras" em fogo posto a coluna GC baseia-se principalmente sobre as diferenças das forças de London. Para complementar estes dados e para ajudar os alunos a compreender melhor como as forças intermoleculares afetam as propriedades de compostos, um experimento de viscosidade e modelos de computador são usados. A modelagem molecular por computador permite que os alunos transitem entre os níveis de representação da matéria, conseguindo visualizar a estrutura tridimensional, atuação das forças e polaridade. Esta experiência incorpora uma variedade de medições, forçando os alunos a integrar observações de vários tipos, levando a uma melhor compreensão global das forças intermoleculares. A utilização das temáticas sobre a resolução de "crimes" é altamente eficiente no processo de aprendizagem dos conteúdos propostos. Os alunos trabalham de forma cooperativa, que pode produzir um ambiente de aprendizagem mais eficaz. Durante o curso da experiência, os estudantes são introduzidos para análise GC, modelo molecular computacional e viscosidade. Nós projetamos o experimento para enfatizar estrutura molecular tridimensional e momentos de dipolo na seção de modelagem computacional, forças London no experimento GC, e o efeito de ligação de hidrogênio nas medições baseadas viscosimetria.			
I33	Teoria sobre a entalpia de soluções orgânicas e forças intermoleculares.	Experimentação (experimentos de verificação)	Ligações de hidrogênio
	Principais resultados		
Com esta simples aplicação oportuniza ao aluno discutir várias questões básicas, algumas das quais raramente são abordados no inorgânico regulares ou cursos de físico química. Em primeiro lugar, o os dados termoquímicos são normalmente obtidos pelo cálculo da média da entalpia resultados de pelo menos cinco testes independentes, em que o erro que afeta a média é de duas vezes o desvio padrão da média (11, 12). A Tabela 4 mostra uma amostra dos dados obtidos em um conjunto de experiências que envolvem a medição das entalpias de solução de haletos de metais alcalinos na água.			
I34	Teoria sobre dipolo-dipolo, dipolo induzido e forças de London.	Experimentação (plotagem de gráfico a partir dos dados experimentais.	dipolo-dipolo, dipolo induzido e forças de London.
	Principais resultados		
Muitos alunos ficam surpresos ao saber que a maioria das moléculas exibem simultaneamente todos os três tipos de forças de interações intermoleculares. Além disso, o potencial de Lennard-Jones é introduzido para permitir que os alunos a examinar a relação entre as várias forças introduzidas. Os alunos também podem aprender o papel das interações repulsivas de curto alcance na determinação da distância de equilíbrio de sistemas que interagem. Inserir Figura 3 (pág. 4). Estas curvas mostram a			

	energia potencial (J) para dipolo-dipolo induzido (traço 1), dipolo-dipolo (traço 2), e de dispersão (traço 3) interações como uma função da distância intermolecular entre duas moléculas de HCl.		
	Construtivismo	Modelos molecular computacional e atividades experimentais investigativas.	Ligação de hidrogênio, dipolo-dipolo e forças de London.
I35	<p>Principais resultados</p> <p>Os alunos utilizam os computadores como uma ferramenta; eles constroem as moléculas, apresentar os cálculos, e interpretar os resultados. A inclusão destas técnicas no primeiro ano de química teve um impacto positivo sobre as percepções de estudantes e aprendizagem dos alunos. Para a compreensão das propriedades físicas dos compostos orgânicos é extremamente importante que o conhecimento sobre forças intermoleculares seja consistente e que os estudantes saibam identificar as interações presentes. Uma planejada sequência de exercício e experimentos no laboratório, fundamentadas na experiência centrada no aluno com a vanguarda da tecnologia química tem um tremendo impacto sobre a aprendizagem dos estudantes.</p>		
	Teoria sobre forças de dispersão de London e analogias	Analogia	Forças de dispersão de London
I36	<p>Principais resultados</p> <p>Forças de dispersão de London surgem a partir do movimento de elétrons dentro de átomos e as moléculas. Como os elétrons se movimentam de uma região de uma molécula para outra, provocando um desequilíbrio de elétrons numa molécula vizinha, afastar-se da região de mais elevada eletronegatividade, formando molécula com dipolos temporários e o resultado é dipolos instantâneos, atração eletrostática de curta duração entre moléculas. Ao introduzir este tópico aos meus alunos, pergunto-lhes se eles já fizeram "a onda" em um evento esportivo. Às vezes, dependendo do grupo, peço-lhes para iniciar uma onda que vai ao redor da sala. Eu, então, sugiro que há uma vaga analogia entre as forças de dispersão de London e uma multidão de pessoas fazendo "a onda", digamos, um jogo de beisebol em um grande estádio.</p>		
I37	Teoria sobre as forças de dispersão de London e as impressões digitais.	Contextualização das forças de dispersão através da investigação criminal.	Forças de dispersão de London
	<p>Principais resultados</p> <p>As forças de dispersão de London, também chamadas de interações dipolo induzido -dipolo induzido. Estas forças resultam de fracos momentos dipolares instantâneos causadas por temporárias distribuições desiguais na densidade de elétrons. As forças de dispersão aumentam com o aumento da massa molar e com o aumento da área da superfície. Uma vez que as massas molares dos ácidos graxos das impressões digitais de uma criança são muito menores do que os dos ésteres de ácido graxos encontrado em impressões digitais adultos, as impressões digitais das crianças são mais voláteis e podem desaparecer em questão de horas em um ambiente quente. A pesquisa atual está focada no desenvolvimento de um novo teste para Impressões digitais de crianças para permitir polícia para detectá-los após as substâncias que reagem com os métodos convencionais têm evaporado. Este estudo também revelou diferenças entre masculino e as impressões digitais do sexo feminino, mas essas diferenças são mais sutis e, como ainda não foi bem caracterizado (2). Também existem potenciais aplicações clínicas dessa pesquisa, onde excreções de pele pode ser usada para doenças metabólicas e ensaios, bem como testes de drogas e seus metabólitos (2).</p>		
	Construtivismo	Simulação molecular dinâmica (MSD)	Íon-dipolo, dipolo-dipolo-induzido, forças de dispersão de London, ligação de hidrogênio.
I38	<p>Principais resultados</p> <p>As forças intermoleculares desempenham um papel importante em muitos aspectos da química que vão desde da inorgânica até a bioquímica. Estas forças ditam a conformação molecular, agregação de espécies (incluindo automontagem), as tendências de pontos de ebulição, solubilidade, as características de adsorção, viscosidade, mudanças de fase, tensão superficial, ação capilar, pressão de vapor, de emparelhamento de íons. Entender essas atrações é importante para os químicos; ainda, visualizando estas forças e desenvolver uma "sensação" qualitativa para eles muitas vezes pode ser muito difícil para os alunos. Além disso, o tema de forças intermoleculares pode ser encontrado em todos os níveis de ensino de química. Modelos tridimensionais gerados por computador, pictóricas de moléculas que mostram a distribuição da densidade de elétrons permitiu aos estudantes visualizar conceitos de polaridade e relacionar com as interações intermoleculares e propriedades física dos compostos. Os</p>		

	<p>autores afirmam que o ensino das forças intermoleculares deve ter como base a natureza eletrostática dessas interações. MDS pode ser usado para ajudar a aumentar as capacidades dos alunos para visualizar a natureza corpuscular da matéria e dissipar equívocos comuns sobre as forças intermoleculares, ligação covalente e estrutura da matéria, mudanças de fase, e força do ácido. MDS é uma ferramenta muito valiosa para ajudar os alunos a visualizar a natureza das interações intermoleculares e as ramificações dessas interações. Íon dipolo: O resultado desta simulação destaca dois fenômenos: em primeiro lugar o íon interage mais fortemente com as moléculas polares cloro metano e está rodeado por eles, e em segundo lugar, as moléculas de cloro metano tendem a associar-se uns aos outros excluindo as moléculas de tetra cloro metano. A utilização do MDS favorece consideravelmente a visualização microscópica das forças intermoleculares. As simulações podem ser empregadas para auxiliar a compreensão de química geral, física, ambiental, orgânico e inorgânico ou pode ser usado como experiências independentes em cursos de química computacionais. A simplicidade de como MDS são gerados está em contraste com a aparente complexidade da mecânica quântica e muitas vezes é muito menos intimidante para os alunos.</p>		
I39	Teoria sobre as interações dipolo-dipolo	Contextualização do conteúdo de forças intermoleculares.	Dipolo-dipolo (ligação de hidrogênio)
	<p>Principais resultados</p> <p>Os autores afirmam que é importante que os cursos de graduação em química devam incluir uma discussão das propriedades de fases condensadas, incluindo forças intermoleculares que dominam em líquidos e sólidos, ilustrando esses conceitos com exemplos cotidianos bem conhecidos tal como a viscosidade, a tensão superficial, e ajuda a ação capilar para que os alunos tanto, visualizar e compreender as ideias de forças intermoleculares de coesão e adesivas. A demonstração e discussão das pernas em um copo de vinho dá aos alunos uma ideia sobre as forças químicas subjacentes presentes em fenômenos do dia-a-dia.</p>		
I40	Construtivismo	Jogo didáticos	Ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, e de dispersão de forças London
	<p>Principais resultados</p> <p>Novos paradigmas na educação levaram a uma necessidade de metodologias alternativas na sala de aula do ensino superior. Um jogo educativo sobre molecular geometria, polaridade, e forças intermoleculares para estudantes de engenharia em um curso de química geral foi concebido e implementado. Os resultados mostraram que o jogo foi eficaz na reconstrução de conhecimento dos alunos, demonstrando que os jogos podem servir como uma ferramenta pedagógica útil no ensino superior. Os jogos podem ser considerados educacional quando desenvolvem habilidades cognitivas e operacionais, tais como resolução de problemas, percepção, criatividade e raciocínio, que são importantes para a construção do conhecimento.³ habilidades cognitivas estão relacionadas com a competência em discriminar entre objetos, eventos ou estímulos; identificando e classificação de conceitos; e aplicando regras e resolver problemas.</p> <p>4 De acordo com Antunes, 2 as capacidades operativas podem ser definidas como aptidões ou capacidades cognitivas que permitem que o indivíduo de compreensão e intervenção na vida social e cultural fenômenos e que ajuda a construir relacionamentos. O uso de educacional de jogos em sala de aula contribui para um mais informal meio ambiente, facilitar a experimentação e participação dos alunos, tornando-ativa e cooperativa individuais. Afirma que um jogo deve levar em conta requisito educacional, a redefinição dos conhecimentos previamente construído, identificar falhas no processo de ensino-aprendizagem, realizar a revisão de conteúdo, ou desenvolver novas relações entre os conceitos estudados. As perguntas construídas para o jogo incluído diferentes níveis cognitivos, tais como o conhecimento, compreensão, aplicação e avaliação.</p>		
	Teorias sobre Concepções alternativas	Aplicação de exercícios para detectar as concepções alternativas.	Ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, e de dispersão de forças London
	<p>Principais resultados</p> <p>A capacidade para usar as representações de estrutura molecular para prever as propriedades macroscópicas de uma substância é central para o desenvolvimento de uma compreensão da química. As forças intermoleculares (IMFs) desempenham um papel importante neste processo porque proporcionam um mecanismo para fazer e por que as moléculas interagem. Neste estudo, nós investigamos aluno a pensar sobre IMFs (isto é, ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, e de dispersão de London forças) solicitando aos estudantes universitários de química geral para ambos descrevem sua compreensão por escrito e para desenhar representações de IMFs. Análise de desenhos dos alunos mostra que a maioria dos estudantes em nosso estudo não tinha uma, compreensão coerente</p>		

141	<p>de IMFs como interações entre as moléculas. Finalmente 55% dos alunos em nosso estudo inequivocamente representada cada uma FMI interação ou ligação dentro de uma única molécula, enquanto que apenas 10-30% dos alunos representada cada FMI como uma interação entre moléculas. Um estudante deve ser capaz de construir e, em seguida, usar uma estrutura (por entendimento que a distribuição de forma e de elétrons na molécula determinar a polaridade molecular) para fazer deduções sobre as interações entre as moléculas (forças intermoleculares) que governam tanto propriedades físicas e químicas. Os autores descobriram que alguns alunos são (talvez compreensivelmente) confuso sobre a natureza da ligação de hidrogênio. Nós não devemos ficar surpresos quando os alunos têm Dificuldades com a diferença entre ligações covalentes e forças intermoleculares, especialmente quando eles são exacerbados pelas o fato de que uma força intermolecular é chamada de "ligação". Para exemplo, indicaram que a ligação de hidrogênio é uma ligação covalente entre um O e H no Na mesma molécula. Se um estudante aprende que a água tem uma relativamente alta ponto de ebulição porque as ligações de hidrogênio fortes devem ser superadas, então não deve ser muito surpreso quando os alunos 'modelos de mudança de fase giram em torno de quebrar a ligação covalente A importância da aprendizagem multimodal, ou seja, fornecendo visuais (imagens) e (palavras) apoio verbal para a aprendizagem dos alunos, tem sido enfatizada. Tem sido proposto que materiais instrucionais que proporcionam as palavras e representações pictóricas são mais eficazes porque a compreensão do estudante pode ser aumentada pela a adição de conhecimento representativos não verbal, favorecendo com que os estudantes transitem entre os níveis de representação da matéria.</p>		
142	Teorias sobre Concepções alternativas	Aplicação de exercícios para detectar as concepções alternativas.	Ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, e de dispersão de forças London
Principais resultados			
<p>Os autores constataram que a maioria dos alunos deixam química geral sem uma compreensão coerente da diferença entre interações covalentes e não covalentes, isso certamente deve impactar sua compreensão posterior de fenômenos química e biológicos. As interações não covalentes, muitas vezes referida como forças (IMFs) intermolecular, que ocorrem entre pequenas moléculas e dentro (macro) moléculas maiores são responsáveis por uma ampla gama de fenômenos. No domínio da química, eles fornecem a base para a compreensão tanto das propriedades física e química de uma substância. Em sistemas biológicos, interações não covalentes determinam a estrutura tridimensional de macromoléculas e as interações de ligação entre várias moléculas. Compreender como as moléculas interagem é, portanto, crítica para uma compreensão de uma vasta gama de parâmetros físicos, química e fenômenos biológicos. Para que os alunos a explicar a diferença entre uma mudança de fase e uma substância química alterar, a dissociação das moléculas de ligação e a uma enzima ou uma proteína de fator de transcrição a uma molécula de ADN, ou a entender por que uma macromolécula especial assume a forma ele faz ou como as mudanças no seu ambiente (por exemplo, temperatura ou solvente) influenciar a sua estrutura, os estudantes devem desenvolver e ser capaz de aplicar uma apreciação precisa da interações não-covalente. Aprender sobre como moléculas interagem é central para a maioria dos cursos de química e geralmente é apresentada sob a termo "forças intermoleculares" guarda-chuva com vários tipos de IMFs a ser introduzida; por exemplo, ligação de hidrogênio, interações dipolo-dipolo e forças de dispersão de London são vulgarmente discutidas como exemplos de um fenômeno semelhante.</p>			
143	Teoria sobre concepção alternativa	Utilização de metáforas e analogias para romper com as dificuldades sobre forças intermoleculares de futuros professores de química.	Força dipolo-dipolo, ligações de hidrogênio e força van der Waals
Principais resultados			
<p>A análise dos dados revelou que os futuros professores desenvolvem suas comparações criativas baseado na formação e força das diferentes interações e que eles também tinham concepções alternativas, particularmente a respeito da formação dos tipos de interação e ligação covalentes, ligações de hidrogênio, e a força de van der Waals. O principal objetivo do ensino da química é ajudar os alunos a compreender fenômenos naturais, princípios e teorias científicas. Por vezes, este objetivo pode ser difícil atingir no processo de aprendizagem, pois como muitos fenômenos são difíceis de entender, e o princípios científicos e conceitos são abstratos e complexos. Assim, alguns estudos mostram que quando os alunos são confrontados com um difícil conceito, eles tentam compreendê-lo, relacionando ideias para existente conhecimentos e as suas próprias experiências cotidianas. Neste processo, metáforas, analogias e metáforas desempenham um importante papel como eles colmatar o conhecido para o desconhecido, e alterar o sistema conceitual do conhecimento existente, modificando e reforço das suas associações. Estudantes confundir forças intra e intermoleculares (Treagust,1988; Peterson e Treagust, 1989; Peterson et al., 1989; Taber, 1998; Tan e Treagust, 1999; Barker e Millar,</p>			

	2000; Unal, 2007). Os alunos têm uma má compreensão da natureza eletrostática e da interação química (Taber, 1995, 1998; De Posada, 1997; Boo, 1998, 2000, Taber et al., 2012). Os alunos não têm conhecimento de diferenças na força das forças inter e intramoleculares (Treagust, 1988; Peterson e Treagust, 1989; Boo, 1998; Tan e Treagust, 1999). O presente estudo encontrou algumas analogias que podem criar obstáculos à aprendizagem: " A ligação de hidrogênio é como uma membrana celular, porque não vai funcionar com qualquer átomo; é um tipo de permeante seletiva porque a célula membrana tem a propriedade de seletividade.		
	Teoria sobre concepção alternativa e construtivismo.	Utilização de exercícios e atividades experimentais investigativas para detectar as concepções alternativas.	Ligações de hidrogênio, forças de dispersão, van der Waals forças, ou forças dipolo-dipolo
I44	<p>Principais resultados</p> <p>Os autores afirmam Química é às vezes visto como um assunto difícil porque exige que os alunos transitem entre os níveis macroscópico (visível), visualizações submicroscópicas, e simbólicas da matéria (Johnstone, 1991). Visualizações Submicroscópicas de (nível molecular) são particularmente um desafio, porque é muito abstrato. Autores notaram que alguns alunos atribuem a quebra das forças intermoleculares ou ligações químicas quando um sólido derrete. Os estudantes não consideram interações entre o soluto e o solvente, quando dissolve substância, o que leva os estudantes de serem incapazes de explicar por que alguns compostos se dissolvem e outros não. Adicionalmente, relatou que alguns estudantes, para decidir se iria dissolver na água ou não os compostos orgânicos, não reconheceu grupos funcionais (Tais como grupos OH ou NH-grupos), mas em vez se concentrou em elementos específicos, tais como o oxigênio, carbono, ou hidrogênio, em decidir sobre a solubilidade.</p>		
I45	Teoria sobre a ligação de hidrogênio	Fundamentação teórica e experimental sobre as ligações de hidrogênio.	Ligação de hidrogênio
	<p>Principais resultados</p> <p>Para os autores, a Ligação de hidrogênio é sem dúvida o " tipo 'mais importante' interação supramolecular. Os autores constaram que a apresentação da ligação de hidrogênio nos livros didáticos é tão complexa que os estudantes contam com a memorização para determinar quais elementos podem estar envolvidos na referida ligação. A tendência de muitos livros de química para se referir a ligação H- (Bem como outras interações de van der Waals) não como " ligação química ", mas como " apenas força ", relatando que um livro apresenta ligações intermoleculares sem se referir a seus " tipos ", quatro livros referem-se à existência de forças intermoleculares, mas descrevem apenas a ligação de hidrogênio, e nove livros seguem a ordem diferente de apresentação dos tipos de força intermolecular, com a maioria dos livros concordando que covalente e ligação iônica são verdadeiras ligações, enquanto H-ligação e outras interações intermoleculares são apenas " forças ". Definições comuns de H-ligação em livros didáticos atuais são quase uniformes em defender a ligação de hidrogênio como puramente uma força eletrostática " dipolo, dipolo " lógica, como se mostra na seguinte representativo dos exemplos (altamente conservadas de edição para edição):</p> <p>" Um tipo de interação dipolo-dipolo " (Brown et al., 2012), " Um tipo especial de interação dipolo-dipolo " (Burdge, 2011),</p> <p>" Forças dipolo-dipolo particularmente fortes, " (Zumdahl e Zumdahl, 2012), " Uma forma extrema de interação dipolo-dipolo, " (Kotz et al., 2009),</p> <p>" Especialmente reforçadas forças dipolo-dipolo " (Siska, 2005), " Um tipo especial de força dipolo-dipolo " (Moore et al., 2010), " Uma espécie de super força dipolo-dipolo " (Tro, 2011), e muitos semelhantes. A entrada de Wikipedia atual para " ligação de hidrogênio " (acessado em 19 de fevereiro de 2014) também inclui declarativa afirmações como " A ligação de hidrogênio é a interação atrativa eletromagnética entre moléculas polares. . . não é uma verdadeira ligação, mas um particularmente forte atração dipolo-dipolo, e não deve ser confundida com uma ligação covalente ". Desta forma, os autores defendem, de acordo com as recomendações da IUPAC, que o ensino de ligações de hidrogênio não deve basear-se pura e simplesmente na natureza eletrostática, e sim no caráter covalente e na ressonância. Além disso, A evidência direta e com base regressão, a comissão IUPAC foi fortemente influenciado por medidas experimentais mais recentes embasadas em propriedades até então desconhecidos das ligações de hidrogênio, desafiando a explicação da eletrostática clássica. Esses estudos incluem dispersão de Compton e RMN que a procura troca do tipo " comunicação " entre a espécie ligantes com H, bem como impressionantes imagens de microscopia de força atômica de ligações de H como fibras " pontes " entre as moléculas (Zhang et al., 2013), todos fora do quadro da teoria eletrostática clássica.</p>		
	Construtivismo	Resolução de problemas para identificação conceitual (identificar os	Forças intermoleculares

		níveis de compreensão e os equívocos sobre FI)	
	Principais resultados		
I46	<p>Inserir Fig. 1 pag. 3 (pré-requisitos) destaca o mapa conceitual dos quadros conceituais para a aprendizagem de forças intermoleculares. Os autores detectaram algumas concepções alternativas, tais como o exemplo: pensamentos errôneos que a força intermolecular era maior entre CF₄ moléculas (não polares) do que entre moléculas OF₂ (polar) porque existem quatro ligações polares em CF₄ e apenas duas ligações polares em OF₂. Este equívoco sugere que os estudantes estavam operando em um quadro conceitual fragmentado em vez de empregar um processo consistente e lógico de pensamento, como o conhecimento fragmentado não tinham fundamento a ser assimilado. A fragmentação de seus quadros conceituais poderia resultar de aprendizagem mecânica sem significativamente conectando as concepções recém-adquiridas com o conhecimento existente. Resultados deste estudo revelam a importância de auxiliar os alunos no desenvolvimento de um quadro conceitual preciso, coerente, bem como a influência de estruturas conceituais na qualidade das explicações dos alunos e a capacidade dos alunos para reconciliar e alternar entre e entre modelos e representações química. Além disso, os estudantes precisam ter noção essencial - (a) modelos de estrutura atômica, (b) carga, força eletrostática e polaridade, e (c) descrições da mecânica quântica - Foram identificados que deve ser abordada a desenvolver uma maior qualidade os quadros conceituais ao aprender sobre forças intermoleculares. A evidência foi fornecida para ilustrar que a falta qualquer um dos conceitos-chave pode resultar em equívocos, deficiências de entendimento, ou uma falta no uso do raciocínio de senso comum.</p>		
	Construtivismo (concepções alternativas)	Exercícios para detectar concepções alternativas	Ligação de hidrogênio
	Principais resultados		
I47	<p>Os resultados indicam que os estudantes tiveram dificuldade em prever os pontos de ebulição relativos de compostos orgânicos. A concepção alternativa mais proeminente era que ferver envolve a quebra de ligações covalentes. Os resultados também indicam que os estudantes usaram modelos alternativos para ligações de hidrogênio, limitando a ocorrência de ligações de hidrogênio à presença de átomos de oxigênio e hidrogênio, ou moléculas dipolares. Os resultados mostram que a compreensão das forças intermoleculares no ensino secundário é inadequada, e que o ensino deve ser alterado. Os itens desenvolvidos neste estudo poderiam ser incorporados em discussões em sala de aula. Aprender a química envolve o desenvolvimento de uma compreensão de conceitos. Ao longo dos últimos trinta anos, vários trabalhos têm sido publicados sobre dificuldades dos estudantes na compreensão de conceitos importantes, tais como reações ácido-base ou eletroquímica. Do mesmo modo, tem havido considerável pesquisa recente investigação compreensão de outros conceitos importantes, tais como o modelo de partículas de matéria (ver, por exemplo, Harrison e Treagust, 2002; 2006; Fischler e Reiners, 2006). No entanto, poucas pesquisas foram realizadas para investigar a compreensão dos estudantes sobre intermoleculares embora alguns estudos (por exemplo, Peterson et al, 1989; Birk e Kurtz, 1999) incluíssem um ou dois itens sobre este tema. O tema das forças intermoleculares é ensinado nas escolas secundárias alemãs e aparece em dois livros amplamente usados (Jäckel e Risch, 1988 e 1993). Para entender as forças intermoleculares, os alunos precisam ter um modelo mental de matéria que está sendo composta de partículas, como átomos, moléculas e íons. Por sua vez, pensando de forças intermoleculares ajuda na previsão de uma série de propriedades físicas de compostos, tais como pontos de ebulição relativos, e alteração no estado da matéria. Parece, portanto, relevante para estudar a compreensão das forças intermoleculares no ensino secundário alemão. A investigação sobre a compreensão conceitual dos alunos da matéria em nível de partículas tem recebido atenção considerável ao longo de três décadas.</p>		
	Construtivismo	Software de visualização molecular	Ligações de hidrogênio, forças de dispersão, forças van der Waals ou forças dipolo-dipolo
	Principais resultados		
	<p>O uso de software de visualização molecular tem feito um tremendo impacto na bioquímica e biologia celular em sala de aula. Professores já não confiam em imagens estáticas em livros didáticos para ensinar a natureza estrutural de moléculas biológicas. O surgimento de muitos programas gráficos moleculares diferentes e salas de aula de base tecnológica aumentou a capacidade de professores ensinar conceitos estruturais, tais como interações não covalentes e níveis de organização em tutoriais baseados na web proteins. Os alunos também podem obter experiência prática com os programas gráficos para explorar os aspectos estruturais dos sistemas macromoleculares. Este relatório mostra que os alunos envolvidos em projetos de visualização se tornar hábil em identificar várias formas estruturais que foram discutidas em sala de aula ou estão descobrindo pela primeira vez. Esta abordagem centrada</p>		

I48	<p>no aluno aumenta a capacidade dos estudantes de compreender conceitos estruturais e perceber a importância de fraca interações na estrutura de moléculas grandes. A principal conclusão deste estudo é que a visualização molecular pode ser um eficaz ensino / ferramenta de aprendizagem que permite aos alunos para dar um passo além do que tradicionalmente aprender sobre moléculas biológicas. Quando os alunos são obrigados a usar o software de visualização, o exercício se torna baseada na investigação e permite que os alunos a descobrir elementos estruturais específicos e interações não covalentes em macromoléculas sem orientação direta do instrutor. Apresentações orais por parte dos alunos forçá-los a assumir o papel de instrutor e de apresentar seu trabalho de uma forma que é benéfico para o resto da classe. O software de visualização desempenha um papel importante, pois permite-lhes apresentar a estrutura de moléculas biológicas na forma como eles acreditam que é mais descritivo, sem depender de figuras existentes em livros didáticos.</p>		
I49	Construtivismo	Abordagem baseada em contexto – Resolução de problemas dentro do contexto dos estudantes.	Ligação de hidrogênio
	<p>Principais resultados</p> <p>Abordagens de aprendizagem baseado em contexto têm sido implementadas em ciências da escola durante os últimos 40 anos como uma maneira de aumentar o interesse dos alunos em, bem como os resultados da aprendizagem de ciência. Os contextos são usados para conectar a ciência com a vida dos alunos e fornecer um quadro em que os conceitos podem ser aprendidos. Investigar aplicação de conceitos químicos dos alunos na resolução de contexto baseado em problemas de química. Tarefas para a resolução de problemas baseado em contexto foram concebidos de forma sistemática, utilizando diferentes combinações de contextos, tópicos e conceitos de química em relação ao programa. A dificuldade de diferenciar entre a ligação intra e intermolecular enfatizado em pesquisas anteriores tem também sido evidente neste estudo. Investigação sueca também destaca que o ensino de química secundário que emana do livro e com uma clara ênfase em definições básicas e representações simbólicas (Adbo e Taber, 2014). No entanto, a ligação vida cotidiana é solicitado pelas políticas públicas do ensino secundário suecas para melhorar a química da escola para torná-lo mais significativo. Conclui que os professores de química muitas vezes tentam conectar o conteúdo com a vida cotidiana, porém não de uma forma crítica, sem problematizar a relação entre a vida cotidiana e conteúdo da química. A noção de "vida cotidiana" é mencionado em primeiro frase do programa válido no momento da investigação; "O objeto de Química visa proporcionar um conhecimento avançado de processos químicos e de um conhecimento da variedade de produtos químicos, aplicações e sua importância na vida cotidiana, a indústria, medicina e do ambiente de vida " (Agência Nacional Sueca de Educação, 2000). Isso torna importante investir em metodologias que aproxime aos alunos com estes contextos, neste caso, sobre tarefas de química que são baseados em contexto. Em resumo, embora os alunos não são familiarizado com os problemas que requerem pensamento de ordem superior, argumentamos para a utilização destes na química da escola, tanto como problemas de aprender a partir, bem como tarefas de avaliação. Ainda assim, precisamos de obter mais conhecimento sobre como os estudantes fazem uso desta contextualização no processo Solução de problemas.</p>		
I50	Construtivismo	Tutorial de visualização molecular, modelagem.	Ligação de hidrogênio
	<p>Principais resultados</p> <p>As implementações de novas ferramentas de ensino podem exigir uma reorganização das matérias ensinadas por meio de práticas educativas eficazes (Brassard e Daele, 2003). De Jong (2000), Kempa (2002) e Gilbert et al. (2005) têm argumentado para colmatar o fosso tradicional entre pesquisa e prática no ensino das ciências pela colaboração entre pesquisadores e profissionais para o benefício de ambos. Água e interações moleculares 'é um tutorial interativo relevantes para o campo da química-bioquímica. Ele representa uma nova abordagem para o estudo dos conceitos básicos de interações moleculares de acordo com a natureza das moléculas e as suas propriedades físico-químicas destinadas a melhorar a compreensão da estrutura de moléculas biológicas e das suas funções através mostrando os estudantes de biologia as relações entre a química e a biologia. Ele oferece uma gama consistente de capítulos que tratam de conceitos químicos básicos que permitem a compreensão da interação da água com moléculas biológicas. Ele fornece textos explicativos, bem como observações e atividades, tais como a possibilidade de manipular modelos moleculares com o plug-in "carrilhão", cuja vantagem é que hands-on de aprendizagem ocorre em um curto espaço de tempo; este é o tema da primeira seção do tutorial. O trabalho aqui relatado diz respeito à avaliação do uso educacional do presente pedido. O conteúdo teórico e a sequência tutorial oferecer uma sequência pedagogicamente construído (inspiração instrucionista, Russell et al., 2004) para jovens estudantes. A escolha de água, uma molécula simples, destacou-se como imperativo, uma vez que permitiu a introdução de forma e reatividade características, tanto mais que a água é uma molécula essencial para a compreensão da vida. Por isso,</p>		

	logicamente, para apresentar as diferentes forças de interação das moléculas biológicas e para fornecer exemplos claros. No entanto, achamos que é fundamental para capacitar os alunos a tomar a iniciativa em aprender estrutura e movimento noções (inspiração construtivista, Russell et al., 2004). Pensamos que, mesmo se o uso de analogias pode ser útil às vezes (Sarantopoulos e Tsapalis, 2004), o papel dos professores em nível universitário é bastante para passar para os alunos uma abordagem de conceitos fundamentais em tão realista e científica de uma forma que possível.		
	Construtivismo	Laboratório didático, atividades experimentais de verificação.	Forças intermoleculares
I51	<p>Principais resultados</p> <p>Uma experiência de laboratório permite estabelecer relações entre os diferentes tipos de forças envolvidas com a estrutura e propriedades macroscópicas, é proposto. Experimentos de laboratório são projetados para medir a propriedade macroscópica, tais como a tensão superficial de substâncias diferentes, e relacionando-as com as forças de interação e sua natureza. O laboratório didático proposto mostrou melhorias importantes com aspectos ao ensino clássico. Ensino de química geral para calouros em nível universitário, é essencial busca de novas estratégias para resolver alguns problemas de aprendizagem, especialmente aqueles conceitos difíceis de entender que exigem altos níveis de abstração, como é o caso de estudo forças intermoleculares. Entender os conceitos de forças intermoleculares, é um desafio, precisamente por causa da sua natureza teórica e a dificuldade para implementá-las. Tal compreensão envolve uma exigência triplo: um lado, requer a compreensão do conceito, a nível macroscópico, o que significa que a aplicação do conceito diferentes contextos. O segundo requisito implica compreensão do seu significado no nível microscópico, como um processo que ocorre em nível atômico-molecular. Por último, exige a compreensão das relações entre o nível microscópica e macroscópica, através da utilização de representações simbólicas, esquemas e fórmulas equações químicas. Os autores afirmam que o conteúdo de forças intermoleculares apresenta dificuldades em sua conceituação como consequência da necessidade de conhecimento dos processos a nível molecular. É necessário utilizar conceitos mais concretos, a implementação de tarefas experimentais ou de ensino laboratórios, de qual é possível abstrações que tornam possível estabelecer relações significativas entre os tipos das forças envolvidas e sua relação com as estruturas e as propriedades macroscópicas que são (pontos de ebulição e de fusão, o calor de vaporização) afetadas.</p>		

APÊNDICE - B - QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO INICIAL (SDI)

Questionário inicial (SD)

Este questionário tem como propósito conhecer o perfil e algumas ideias dos participantes da pesquisa sobre o tópico de forças intermoleculares. 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: _____

1. Em sua opinião, você considera importante estudar Química? Por quê?

2. O que deveria ser feito para você se interessar mais pelo conhecimento químico?

3. O que você entende por interações intermoleculares e intramoleculares?

4. Em sua opinião, as interações existentes entre as moléculas influenciam em alguma propriedade da matéria? () Sim () Não. Justifique sua resposta.

5. Você acha que as forças intermoleculares podem influenciar os itens abaixo? Quais? Justifique sua resposta nas linhas abaixo.

() massa atômica () radioatividade () pontos de fusão e ebulição () estado físico da matéria
() densidade () solubilidade () número atômico () viscosidade () miscibilidade (mistura de líquidos)

6. Muitos dos nossos hábitos diários podem ser explicados pela teoria das forças intermoleculares, como por exemplo, na hora de tomar banho e lavar as mãos com água e sabão. Você sabe o porquê de o sabão facilitar na remoção de substâncias gordurosas (apolares) presentes na superfície de nosso corpo? Explique.

7. Identifique macroscopicamente (1) e sub-microscopicamente (2) as substâncias participantes das seguintes misturas e faça uma descrição do que desenhou para cada sistema. Não se esqueça de identificar as interações intermoleculares.

a) Água e etanol (C_2H_6O)

Água e H

b) Hidrocarboneto (Propano) (C_3H_8)

8. As forças intermoleculares são responsáveis por várias propriedades físicas das moléculas, como, por exemplo, a temperatura de fusão e ebulição. Considere as moléculas de **F₂, Cl₂ e Br₂, H₂O e HCl**.

a) Quais as principais forças intermoleculares presentes nessas espécies?

b) De acordo com seus conhecimentos faça uma previsão e ordene essas espécies em ordem crescente de temperatura de ebulição e justifique sua resposta.

c) Explique o que você acha que acontece com uma determinada substância quando ela sofre uma transformação física, ou seja, quando ela passa, por exemplo, do líquido para o gasoso.

11. Quando um pintor terminar de pintar uma casa ou uma peça com tinta óleo, ele coloca o pincel imerso em água rász, thinner ou querosene. Se ele lavasse com água, conseguiria remover a tinta do pincel? Sim ou não? Por quê?

13. Complete o quadro com as moléculas das substâncias moleculares listadas abaixo.

Interação	Substâncias	Conceito	Modelo
Forças de London			
Interação dipolo-dipolo			
Ligação Hidrogênio			

- a) Amônia (NH_3). b) Água (H_2O). c) Acetaldeído (CH_2O). d) Bromo (Br_2).
e) Cianeto de hidrogênio (HCN).

Muitas vezes nos deparamos com algumas situações bem intrigantes e que nos levam a pensar nas razões que condicionam a ocorrência destes fenômenos. Por exemplo, por que devemos ter certos cuidados ao armazenar determinados tipos de alimentos no refrigerador? Quando colocamos esta questão, queremos, na realidade, destacar algumas questões como: por que dois bifés fatiados, se colocados juntos, se unem? Ou por que dois picolés sem embalagem também se unem? Ou mesmo quando se coloca fatias de queijo uma sobre a outra, depois fica difícil de separá-las. E ainda percebemos que, se colocarmos a mão sobre gelo contido no refrigerador, esta se “gruda” no gelo (FARIAS, 2008).

Como você explicaria esses fenômenos?

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO INICIAL UNIDADE DIDÁTICA 1 (UD1 I).

Nome: _____ Turma: _____

1. Substâncias como o iodo, açúcar e o grafite são chamadas de substâncias moleculares. Na tabela a seguir, é possível observar dados sobre a temperatura de fusão e ebulição em muitas outras substâncias moleculares conhecidas

Como você explica o fato de algumas terem temperaturas de fusão e ebulição baixas e outras altas?

2. Explique o que você acha que acontece com uma determinada substância quando ela sofre uma transformação física, ou seja, quando ela passa, por exemplo, do líquido para o gasoso.

3. O que você entende por forças intermoleculares?

4. Quais as diferenças entre interações intermoleculares e intramoleculares? Caracterize as forças intermoleculares que agem nas substâncias moleculares. Como estas forças influenciam as propriedades físicas destas substâncias?

5. Considere as substâncias solventes: C_6H_6 , CCl_4 , e H_2O e substâncias (solutos) NH_3 (amônia), I_2 , levando em conta suas ligações químicas, polaridade de suas moléculas e os tipos de forças intermoleculares envolvidas. Responda:

- O solvente mais apropriado para dissolver a amônia. Explique.
- O solvente mais apropriado para dissolver o Iodo. Explique.
- Aponte uma substância cujas moléculas não formam ligações hidrogênio.
- Faça um desenho que represente as interações para cada substância mencionada e identifique essas interações

APÊNDICE - D - ATIVIDADE DE PESQUISA "ANALISANDO AS PROPRIEDADES DAS SUBSTÂNCIAS".

Atividade de pesquisa “Analisando as propriedades das substâncias”

Neste momento, vamos analisar algumas substâncias e suas propriedades. Para isso, primeiramente, será necessário que você faça uma pesquisa e complete a tabela abaixo:

Substância	Estado físico a 25 °C	Temperatura de fusão	Temperatura de ebulição	Solubilidade em água	Caráter predominante da ligação
Cloreto de Sódio (NaCl)					
Cloreto de Bário (BaCl ₂)					
Óxido de cálcio (CaO)					
Etano (C ₂ H ₆)					
Propano (C ₃ H ₈)					
Butano (C ₄ H ₁₀)					

A partir dos resultados de sua pesquisa, responda as questões abaixo:

1. Analise as propriedades das substâncias e identifique as ligações que podem ocorrer entre as partículas que as constituem. Qual a principal diferença entre elas?
2. Proponha uma explicação, com base nos conhecimentos adquiridos até o momento, para as temperaturas de fusão e de ebulição das substâncias. Não se esqueça de considerar as interações entre as partículas que as constituem.

APÊNDICE - E - TEXTOS BASE PARA ATIVIDADE SOBRE A NATUREZA DAS INTERAÇÕES INTERMOLECULARES.

Grupo 1: Polaridade

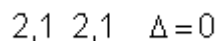
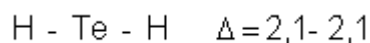
A eletronegatividade é a capacidade que um átomo tem de atrair para si o par de elétrons que ele compartilha com outro átomo em uma ligação covalente. As medidas experimentais foram feitas pelo cientista Linus Pauling, que criou uma escala de eletronegatividade. De acordo com a diferença de eletronegatividade dos elementos, pode-se classificar a ligação covalente em polar ou apolar.

Δ = diferença de eletronegatividade

Ligação Apolar ($\Delta = 0$)

A diferença de eletronegatividade tem que ser igual à zero. Geralmente, acontece em moléculas de átomos iguais.

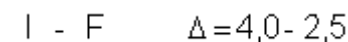
Exemplos:



Ligação Polar ($\Delta \neq 0$)

A diferença de eletronegatividade tem que diferente de zero. Geralmente, acontece em moléculas de átomos diferentes.

Exemplos:



Observe que a ligação entre I e F é mais polar do que a ligação entre H e Cl. Se o valor for maior que 1,7, a ligação é iônica.

Polarização das ligações

O acúmulo de cargas elétricas em determinada região é denominado **pólo** e pode ser de dois tipos

pólo negativo: (-) ou $-\delta$ → maior concentração de elétrons

pólo positivo: (+) ou $+\delta$ → menor concentração de elétrons

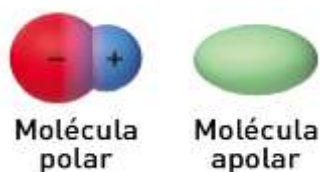
A polaridade de uma ligação é expressa pela diferença de eletronegatividade (Δ) entre os átomos ligados e de acordo com seu valor podemos classificar as ligações em:



Grupo 2: Momento dipolar. (Moléculas polares e apolares)

Momento Dipolar é o nome dado a uma simplificação do fenômeno eletrostático que ocorre na polarização das nuvens numa ligação. Ele é representado por um pequeno vetor, na direção da ligação e cujo sentido é crescente para o lado do elemento que possui uma densidade negativa (Mais eletronegativo). Geralmente os momentos dipolares são de interesse apenas no átomo central de uma estrutura, e com eles, podemos calcular o chamado Momento Dipolar Resultante.

É possível dividir as moléculas em dois grandes grupos, sobre os quais atuam os mesmos tipos de forças intermoleculares: Polares X Apolares:



Moléculas Apolares

Apresentam momento dipolar resultante igual a zero ($\mu_r = 0$)

Uma molécula será apolar quando:

1) Todas as ligações que a compõe forem apolares

<chem>H-H</chem>	<chem>Cl-Cl</chem>	<chem>O=O</chem>
Ligação apolar H_2	Ligação apolar Cl_2	Ligação apolar O_2
Molécula apolar	Molécula apolar	Molécula apolar

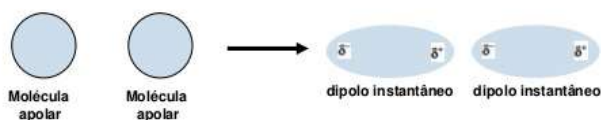
2) A soma total dos momentos dipolares for igual a zero:

<p>$\mu_r = 0 \Rightarrow$ Molécula apolar</p>	<p><small>CO₂, BeH₂ e BF₃, apesar de apresentarem ligações polares são moléculas apolares devido a geometria molecular, pois em ambos os casos os vetores se anulam.</small></p>
<p>$\mu_r = 0 \Rightarrow$ Molécula apolar</p>	

Grupo 3: Formação do dipolo induzido:

O movimento dos elétrons permite que, em determinado momento, **moléculas apolares** consigam induzir um dipolo em sua molécula vizinha e esta, uma vez polarizada, dê seqüência ao efeito. Essas forças foram percebidas pelo físico polonês Fritz London, que sugeriu que moléculas apolares poderiam se tornar dipolos temporários (induzidos).

Uma molécula mesmo sendo apolar, devido ao movimento dos elétrons pode momentaneamente ficar polarizada e por indução elétrica provocar a polarização de uma molécula vizinha



Surge então uma atração elétrica muito fraca que mantém as moléculas unidas

O que acontece nesse tipo de interação é que o núcleo de uma molécula (ou átomo) atrai os elétrons de uma molécula adjacente (ou átomo). Por um instante, as nuvens eletrônicas ficam distorcidas e forma-se um dipolo (denominado dipolo instantâneo, induzido ou temporário).

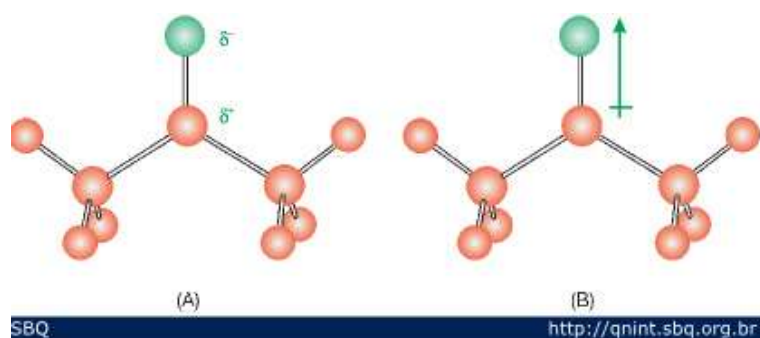
Essas forças surgem a partir de polarizações aleatórias da moléculas. Sendo os elétrons deslocalizados, existe a possibilidade de estarem, ambos, em um dos átomos da ligação. Nessa hora, surge uma polarização momentânea, que é suficiente para induzir seus vizinhos. Por isso, há uma interação, mas inda assim é muito fraca.

Grupo 4: Formação do dipolo permanente.

Em moléculas constituídas de átomos diferentes, os elétrons não são compartilhados de maneira equivalente. O comportamento de átomos em moléculas pode ser entendido através de uma série de conceitos. Por exemplo, a tendência de um átomo em atrair elétrons para si, em um ambiente molecular, é caracterizada por uma quantidade denominada eletronegatividade. Em uma molécula composta de átomos com diferentes eletronegatividades, os átomos com menor eletronegatividade ficam com cargas parciais positivas, e os átomos com maior eletronegatividade ficam com cargas parciais negativas. O resultado disto é que ocorre então uma polarização das ligações que refletirá na maneira como a molécula irá interagir.

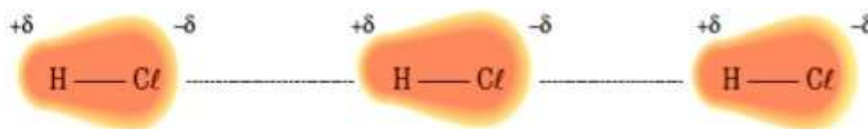
Para ilustrar este conceito, considere a molécula de acetona, mostrada na Figura 1. Uma vez que o oxigênio é mais eletronegativo que o átomo de carbono, a ligação C=O exibirá um dipolo elétrico μ , com os elétrons tendendo a serem mais atraídos pelo oxigênio. Então, a ligação C=O terá uma carga parcial negativa (δ^-) no oxigênio e uma carga parcial positiva no carbono (δ^+). A representação do dipolo elétrico resultante na molécula de acetona é mostrada na Figura 1b. A ponta da seta é voltada para o lado negativo do dipolo. Da mesma forma que os lados opostos de um magneto (imã) se atraem, os lados opostos de um dipolo se atraem, dando origem às interações dipolo-dipolo.

Figura 1.



Como pode ser visto, a interação dipolo-dipolo depende da orientação espacial dos dipolos interagentes, isto é, o momento de dipolo elétrico, μ , é uma grandeza vetorial. **Todas as moléculas polares exibem dipolos elétricos que são ditos serem permanentes.**

Esse tipo de força intermolecular ocorre entre moléculas polares



O pólo negativo de uma molécula atrai o pólo positivo da molécula vizinha, de forma que a molécula apresenta um dipolo permanente

Esse tipo de força intermolecular ocorre em substâncias polares como:



APÊNDICE - F - ATIVIDADE DE PESQUISA E MODELAGEM.

Atividades sobre a natureza das forças intermoleculares

Considere os dados fornecidos a seguir sobre o butano:

	Estado físico a 25 °C	Temperatura de ebulição a 1 atm (°C)	Temperatura de fusão (°C)
Butano (C ₄ H ₁₀)	Gasoso	- 0,48	-135

Orientações: Construa um modelo que represente as interações entre as moléculas do butano no estado líquido e gasoso. Para isso, utilize os materiais fornecidos pela professora. Em seguida, responda:

1. Levando-se em conta que os valores de eletronegatividade dos átomos de C e H são bem próximos (C = 2,5; H = 2,2), que tipo de ligação deve existir entre esses átomos no butano? Explique.
2. O modelo que você elaborou é capaz de explicar a natureza das forças que matam as moléculas do butano unidas? Se não, o que mudaria?
3. Proponha uma explicação: “*o que mantém as moléculas do butano mais próximas umas das outras quando este se encontra no estado líquido?*”. Utilize o modelo elaborado.
4. Se você comparar a intensidade das interações entre as moléculas do butano com as interações eletrostáticas que dão origem a ligação covalente, quais devem ser mais fortes, ou seja, quais interações precisam de mais energia para ser superadas. Explique.
5. Utilizando o modelo elaborado e seus conhecimentos sobre a natureza das forças intermoleculares, como você explicaria o que acontece quando o butano líquido é aquecido até a ebulição. Proponha um modelo que represente esse fenômeno.

Considere a temperatura de ebulição fornecida a seguir:

	Temperatura de ebulição (°C)
Ácido Clorídrico HCl	-85
Hidrogênio H ₂	-252,8

- Com base no modelo elaborado para o butano, proponha um modelo que explique as diferenças nos pontos de ebulição das moléculas mencionadas no quadro. Você considera que a natureza das interações que mantém unidas as moléculas de HCl são as mesmas do H₂? Explique, por meio do modelo elaborado.
- Admite-se que a ligação entre os átomos de H e de Cl na molécula de HCl envolve uma distribuição assimétrica de elétrons, favorecendo a formação de um dipolo permanente na molécula. Levando isso em conta, tente prever que tipo de interação ocorre entre as moléculas de HCl.
- Considerando o valor da temperatura de ebulição do HCl (-85 °C), quais devem ser mais fortes: as ligações covalentes existentes entre os átomos de H e de Cl na molécula de HCl ou as interações entre as moléculas de HCl? Justifique.
- Embasados no conhecimento adquirido até o momento, quais as possíveis interações entre as moléculas de cada uma das espécies químicas apresentadas a seguir:

Substância	Temperatura de ebulição	Polaridade da molécula	Natureza da interação
Fluoreto de Hidrogênio (HF)	19		
Cloreto de Hidrogênio (HCl)	- 85		
Metano (CH ₄)	- 161,5		
Neônio (Ne)	- 196		
Amônia (NH ₃)	- 33		

- Represente as interações entre as moléculas apresentadas no quadro acima.

APÊNDICE - G - ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL “FORÇAS INTERMOLECULARES E A SUA RELAÇÃO COM A POLARIDADE E SOLUBILIDADE E PLANILHA-INVESTIGAÇÃO.

Começaremos o estudo sobre as **Forças intermoleculares**. Para isso, vamos tentar resolver as dúvidas levantadas por Daniel.

Imagine alguém sem nenhum conhecimento científico, pegando um punhado de açúcar e misturando-o em um litro de água. Do ponto de vista dessa pessoa, o açúcar “some” e a água fica com um gosto diferente. Ele pode ter a percepção de que fez uma mistura e de que o gosto do açúcar ficou na água. Essa mesma percepção ocorre quando o sal é misturado à água. Mas o que acontece para que o açúcar e o sal sejam solúveis em água e, por exemplo, o Iodo não seja? Assim, ao adicionar um suco em pó à água, estamos dissolvendo-o.

Materiais e reagentes (Atividade 1)

4 tubos de ensaio, água, cristais de iodo, sal de cozinha (NaCl), açúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$), álcool (C_2H_6O) e querosene ($C_{10}H_{22}$)

Procedimento:

Tubo de ensaio 1: Adicione em um tubo de ensaio aproximadamente 1 mL de água e 200 mg de cristais de Iodo.

Tubo de ensaio 2: Adicione em um tubo de ensaio aproximadamente 1 mL de água e 200 mg de Sal de cozinha.

Tubo de ensaio 3: Adicione em um tubo de ensaio aproximadamente 1 mL de água e 200 mg de açúcar.

Tubo de ensaio 4: Adicione em um tubo de ensaio aproximadamente 1 mL de água, 1 ml de álcool, 1 ml de querosene e 200 mg de Iodo.

Planilha-investigação

Tubo	Descreva o que você viu durante a atividade (poderá utilizar registros pictográficos)
Tubo de ensaio 1	
Tubo de ensaio 2	
Tubo de ensaio 3	
Tubo de ensaio 4	

O que você acabou de ver, elabore algumas perguntas que você gostaria de obter respostas.	
Tubo	Elabore argumentos que expliquem quimicamente o que está ocorrendo em cada tubo de ensaio (hipóteses)
Tubo de ensaio 1	
Tubo de ensaio 2	
Tubo de ensaio 3	
Tubo de ensaio 4	

APÊNDICE - H - TEXTOS DISPONIBILIZADOS AOS ESTUDANTES

Texto 1 – O artigo “**Solubilidade das substâncias orgânicas**”, da revista Química Nova, pode auxiliar no seu entendimento sobre as forças intermoleculares, polaridade e solubilidade. A seguir alguns trechos deste artigo.

Quím. Nova, Vol. 36, No. 8, 1248-1255, 2013

SOLUBILIDADE DAS SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS

Cláudia Rocha Martins*, Wilson Araújo Lopes e Jailson Bittencourt de Andrade
Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Campus Universitário de Ondina, 40170-115 Salvador – BA, Brasil

A solubilidade é um dos temas mais relevantes da área da química, tanto pela sua importância intrínseca quanto pela variedade de fenômenos e propriedades químicas envolvidas no seu entendimento. O processo de solubilização de uma substância química resulta da interação entre a espécie que se deseja solubilizar (soluto) e a substância que a dissolve (solvente), e pode ser definida como a quantidade de soluto que dissolve em uma determinada quantidade de solvente, em condições de equilíbrio. Solubilidade é, portanto, um termo quantitativo. É uma propriedade física (molecular) importante que desempenha um papel fundamental no comportamento das substâncias químicas.

A solubilidade está diretamente relacionada com a estrutura molecular, especialmente com a polaridade das ligações e da espécie química como um todo (momento de dipolo). Geralmente, os compostos apolares ou fracamente polares são solúveis em solventes apolares ou de baixa polaridade, enquanto que compostos de alta polaridade são solúveis em solventes também polares, o que está de acordo com a regra empírica de grande utilidade: "polar dissolve polar, apolar dissolve apolar" ou "o semelhante dissolve o semelhante". A solubilidade depende, portanto, das forças de atração intermoleculares que foram documentadas pela primeira vez por Van der Waals, prêmio Nobel de Física de 1910.

Na realidade, é bem conhecido que a dissolução de um sólido ou de um líquido em outro líquido é um processo que requer energia necessária para vencer as atrações existentes entre as moléculas que constituem o soluto, bem como vencer as forças existentes entre as próprias moléculas do solvente. Ou seja, as forças de atração entre as moléculas do soluto e do solvente devem ser intensas o suficiente para compensar o rompimento das forças de atração entre as moléculas do soluto e entre as moléculas do solvente. Assim, o processo de dissolução de qualquer espécie é explicado de maneira adequada através da análise da energia que surge do estabelecimento de novas interações entre soluto e solvente, além dos fatores relacionados à variação de entropia (ΔS). Como o fator entropia favorece a formação das soluções, estas serão formadas se a variação da entalpia que acompanha o processo for negativa, zero ou fracamente positiva. No entanto, se a variação de entalpia for muito positiva, a variação da entropia não será suficiente para resultar uma variação de energia livre menor que zero, sendo o processo de dissolução não espontâneo.

APÊNDICE - I - MATERIAL DE APOIO DISPONIBILIZADO AOS ESTUDANTES.

Texto 2 – O artigo “**Interações Intermoleculares**”, da revista Química Nova na Escola, pode auxiliar no seu entendimento sobre as diferenças entre as ligações químicas e as forças intermoleculares. A seguir alguns trechos deste artigo.



Quando moléculas, átomos ou íons aproximam-se uns dos outros, dois fenômenos podem ocorrer: (i) eles podem reagir ou (ii) eles podem interagir. Uma reação química por definição requer que ligações químicas sejam quebradas e/ ou formadas. Usualmente as energias envolvidas neste processo variam entre 50 e 100 kcal.mol⁻¹. Uma interação química significa que as moléculas se atraem ou se repelem entre si, sem que ocorra a quebra ou formação de novas ligações químicas. Estas interações são frequentemente chamadas de interações não covalentes ou interações intermoleculares. As energias envolvidas em tais tipos de interações são muito menores que aquelas envolvidas em processos reativos, variando usualmente entre 0,5 a 10 kcal.mol⁻¹. As interações intermoleculares estão intimamente relacionadas com as propriedades termodinâmicas de líquidos, sólidos e gases. Logo, o entendimento de tais forças intermoleculares é de extrema relevância se quisermos entender o comportamento de sistemas químicos a nível molecular.

A intensidade das forças intermoleculares em diferentes substâncias varia em uma grande faixa, mas elas são muito mais fracas que ligações iônicas e covalentes (Figura 1.2). Dessa forma, é necessário menos energia para vaporizar um líquido ou fundir um sólido do que para quebrar ligações covalentes em moléculas. Por exemplo, necessita-se de apenas 16 kJ/mol para vencer as atrações intermoleculares entre as moléculas de HCl em HCl líquido para vaporizá-lo. Em contraste, a energia necessária para dissociar HCl em átomos de H e Cl é 431 kJ/mol. Portanto, quando uma substância molecular como HCl passa de sólido para líquido e para gás, as moléculas em si permanecem intactas. Muitas propriedades dos líquidos, incluindo os pontos de ebulição, refletem a intensidade das forças intermoleculares. Por exemplo, uma vez que as forças entre as moléculas de HCl são tão fracas, HCl entra em ebulição a apenas – 85 o C à pressão atmosférica. O líquido entra em ebulição quando se formam bolhas de seu vapor. **As moléculas de um líquido devem vencer as forças de atração para separar-se e formar um vapor. Quanto mais forte as forças de atração, maior é a temperatura na qual o líquido entra em ebulição. De forma similar, o ponto de fusão de um sólido aumenta à medida que as forças intermoleculares ficam mais fortes**

Esses dois pontos físicos indicam a mudança do arranjo espacial das moléculas, principalmente no que se relaciona ao nível de ordenação que existe. Para que exista a mudança de um arranjo, deve-se superar a barreira energética que o mantém; assim, é necessário superar a força das Interações que lá existem. De forma complementar, não existe quebra de ligações covalentes quando um composto molecular vaporiza, de forma que podemos admitir que as únicas responsáveis por esse processo são as forças intermoleculares, e não as ligações covalentes. $\Delta H_{\text{vaporização}} < \Delta H_{\text{atomização}}$. Dessa discussão já podemos retirar um julgamento a Priori, que nos diz que quanto mais fortes as interações envolvidas entre as moléculas de um composto, maiores serão esses pontos!

APÊNDICE - J - QUESTIONÁRIO FINAL DA UNIDADE DIDÁTICA 1(UD1F).

Nome: _____ Turma: _____

1. Sabe-se que, de forma geral, as ligações covalentes são mais fortes do que as ligações iônicas. Entretanto, os compostos iônicos geralmente apresentam elevadas temperaturas de fusão, enquanto que a maioria dos compostos covalentes simples tem baixas temperaturas de fusão. Explique esta diferença.

2. O que você entende por ligações químicas?

3. O que você entende por forças intermoleculares?

4. Diariamente fazemos o uso da forças intermoleculares, como por exemplo, na hora de tomar banho e lavar as mãos com água e sabão. Você sabe o porquê de o sabão facilitar na remoção de substâncias gordurosas (apolares) presentes na superfície de nosso corpo? Explique.

5. Considere as substâncias C_6H_6 , NH_3 , I_2 , CCl_4 e H_2O , levando em conta suas ligações químicas, polaridade de suas moléculas e os tipos de forças intermoleculares envolvidas. Responda:

- O solvente mais apropriado para dissolver a amônia. Explique.
- O solvente mais apropriado para dissolver o Iodo. Explique.
- Faça um desenho que represente as interações intermoleculares e intramoleculares para as substâncias a seguir:

6. Sabemos que a solubilidade de dois líquidos é também um fenômeno relacionado à natureza das interações entre as diferentes espécies presentes (íons ou moléculas). Represente o comportamento cinético-molecular das espécies presentes em uma solução de água e álcool etílico (C_2H_5OH). Represente essa situação com palavras e/ou desenho e/ou gráfico. Escolha a representação que considere mais apropriada e que melhor expressa sua ideia em relação ao fenômeno.

APÊNDICE - K - QUESTIONÁRIO INICIAL UNIDADE DIDÁTICA 2 (UD2I).

1. Armas químicas são baseadas na toxicidade de substâncias, capazes de matar ou causar danos a pessoas e ao meio ambiente. Elas têm sido utilizadas em grandes conflitos e guerras, como o ocorrido em 2013 na Síria, quando a ação do sarin causou a morte de centenas de civis.

Entre água e benzeno, qual solvente mais adequado para a solubilização do sarin? e a principal força intermolecular encontrada entre as moléculas do sarin no estado líquido? Justifique.

2. A acetona é um líquido incolor com odor característico, ela é muito usada na remoção de esmaltes. É fácil notar a presença da acetona nos salões de beleza, onde é usado na remoção de esmaltes. Basta abrir o recipiente que o contém e rapidamente o mesmo é inalado, pois evapora facilmente, além de ser inflamável. Você saberia identificar as interações presentes nas moléculas deste composto? Faça um desenho que represente essa interação.



3. Entre as moléculas N_2 , HCl e NH_3 existem forças dipolo-dipolo? Explique.

4. Você saberia explicar o que é uma interação dipolo-dipolo e London? Existe alguma diferença entre elas?

5. O CO_2 é de importância crucial em vários processos que se desenvolvem na Terra, participando, por exemplo, da fotossíntese, fonte de carbono para formação da matéria que compõe as plantas terrestres e marinhas. Sabendo que a molécula de CO_2 é apolar, você saberia identificar as forças intermoleculares que unem as moléculas de CO_2 ? Represente essa interação.

6. Observe o quadro abaixo:

Substância	Ponto de Fusão
HCl	$-85^{\circ}C$
Cl_2	$-101^{\circ}C$
Br_2	$-7^{\circ}C$
I_2	$114^{\circ}C$

Você saberia explicar as diferenças de ponto de fusão das substâncias em relação às suas forças intermoleculares?

7. A compreensão das interações intermoleculares é importante para a racionalização das propriedades físico-químicas macroscópicas, bem como para o entendimento dos processos de reconhecimento molecular que ocorrem nos sistemas biológicos. A tabela abaixo apresenta as temperaturas de ebulição (TE), para três líquidos à pressão atmosférica.

Líquido	Fórmula química	Temperatura de ebulição
Acetona	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	56
Água	H_2O	100
Etanol	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	78

a) Você saberia identificar quais as interações presentes nas substâncias mencionadas acima?

b) Em sua opinião, em qual substância apresentam em suas moléculas as interações mais intensas? Justifique.

c) Você considera que a magnitude das forças intermoleculares é a mesma para os três líquidos? Justifique

8. As forças intermoleculares são responsáveis por várias propriedades físicas e químicas das moléculas, como, por exemplo, a temperatura de fusão. Considere as moléculas de F_2 , Cl_2 e Br_2 .

a) Quais as principais forças intermoleculares presentes nessas espécies?

b) Ordene essas espécies em ordem crescente de temperatura de fusão.

APÊNDICE - L - PLANILHA INVESTIGAÇÃO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL.

Problema inicial: Olá pessoal, preciso da ajuda de vocês! Levei meu filho em um espetáculo infantil e nesse dia ele viu algo que o deixou fascinado. Só fala da tal espada que atravessou o corpo de um guri! Pois bem, episódio ocorre da seguinte maneira: entra um garoto e se posiciona com uma cartola na cabeça, em seguida entre o “mágico” com uma espada na mão, faz toda aquela dramaturgia e ao final, enfia a espada dentro da cartola e ela simplesmente desaparece. Nada acontece com o garoto e a espada daquele tamanho simplesmente some, dando a entender que este fenômeno funciona devido a forças ocultas. É claro que esse acontecimento tem uma explicação científica, não é mesmo? As coisas não desaparecem com passe de mágica? Ou desaparecem? Eu peguei umas amostras de possíveis líquidos que estariam dentro da cartola e um pedaço que restou da espada. Poderiam me explicar esse fenômeno tão extraordinário aos olhos dos inocentes? Agradeço a atenção e aguardo retorno.

Hipóteses:

Sugestão: Pesquise individualmente as estrutura e propriedades químicas da água, acetona comercial, isopor® e acetona PA. Quais as características de cada uma dessas substâncias? Quais as forças que atuam em suas moléculas?

Plano de ação: Proponha um procedimento para o experimento que lhe permitirão testar as hipóteses elaboradas.

Análise dos resultados: Organize os dados e faça as anotações das observações.

Proponha uma solução para o problema

Carta – resposta

APÊNDICE - M - QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO INICIAL APLICADO AOS ESTUDANTES REFERENTE À UD 3.

Nome: _____ Idade: ____

Escola: _____ Turma: _____

1. O que você entende por ligação hidrogênio?

2. Em sua opinião, por que os compostos HF, NH₃ e H₂O apresentam elevados pontos de fusão e de ebulição quando comparados a H₂S e HCl, por exemplo? Justifique.

3. A água é o composto mais abundante na superfície do planeta e de fundamental importância para a evolução da vida, possuindo a maior participação em diversos fenômenos que ocorrem em nosso cotidiano. Você saberia identificar quais as interações estão presentes entre as moléculas de água? Proponha um modelo que represente essas interações.

4. A sacarose (açúcar comum), cuja estrutura é mostrada na figura, é um dissacarídeo constituído por uma unidade de glicose ligada à frutose. Você saberia explicar a solubilidade da sacarose em água? Justifique.

5. Observe a tabela abaixo:

SUBSTÂNCIA	→	P. E. (°C)
H ₂ O	→	+ 100,0
H ₂ S	→	- 60,3
H ₂ Se	→	- 41,3
H ₂ Te	→	- 2,2

Você saberia explicar por que o ponto de ebulição da água é anômalo em relação aos demais compostos da família do oxigênio. Justifique

6. (Fuvest – adaptada) Um funcionário de uma empresa ficou encarregado de remover resíduos de diferentes polímeros que estavam aderidos a diversas peças. Após alguma investigação, o funcionário classificou as peças em três grupos, conforme o polímero aderido a cada uma. As fórmulas estruturais de cada um desses polímeros são as seguintes:

8. Muitas vezes nos deparamos com algumas situações bem intrigantes e que nos levam a pensar nas razões que condicionam a ocorrência destes fenômenos. Por exemplo, por que devemos ter certos cuidados ao armazenar determinados tipos de alimentos no refrigerador? Quando colocamos esta questão, queremos, na realidade, destacar algumas questões como: por que dois bifés fatiados, se colocados juntos, se unem? Ou por que dois picolés sem embalagem também se unem? Ou mesmo quando se coloca fatias de queijo uma sobre a outra, depois fica difícil de separá-las. E ainda percebemos que, se colocarmos a mão sobre gelo contido no refrigerador, esta se “gruda” no gelo (FARIAS, 2008).

Como você explicaria esses fenômenos?

9. Uma situação corriqueira com a qual nos deparamos algumas vezes é o simples fato de colocarmos uma garrafa de vidro com refrigerante dentro do freezer, e depois de algum tempo, observarmos que a mesma quebrou. Outra situação curiosa, que muitas vezes acontece, é quando alguém pede alguma bebida em um bar, e o garçom coloca bastante gelo dentro do copo; observando a situação, nos parece que após o derretimento do gelo, o líquido transborde devido à quantidade de gelo que se adicionou. No entanto isto não ocorre. Se deixarmos o copo, com gelo e líquido, parado até a completa fusão do gelo, o nível do líquido não sofre uma mudança perceptível. Como poderíamos explicar estes fenômenos?

APÊNDICE - N - TEXTO DISPONIBILIZADO AOS ESTUDANTES UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

Química da sensação de sabor: um típico fenômeno de reconhecimento químico³

A sensação de sabor é devido às fracas interações químicas entre receptores localizados nas papilas gustativas, mais especificamente nos botões gustativos, com compostos que evocam sabor. Como as papilas gustativas são grupos protéicos, as simulações são possíveis no intuito de quantificar esses tipos de interações prováveis. Qualquer sensação começa com um estímulo, no caso da sensação de sabor, este estímulo ocorre quando uma molécula de um composto que evoca sensação de sabor interage com receptores protéicos. Esta interação gera um impulso levado ao cérebro cujos neurônios traduzem e transformam o estímulo em sensação. No entanto, devemos ficar atentos para o fato de que não há formação de novos produtos, mas sim apenas uma interação entre agente e receptor. Esta interação pode ser desfeita rapidamente, como por exemplo, com o simples fato de “lavar” a língua com água. Consideramos que a sensação de sabor é um fenômeno decorrente dessas fracas interações em solução, e não é resultado da formação de ligações químicas entre um determinado tipo de receptor com as moléculas de um composto. Podemos dizer que se trata de um fenômeno de superfície em que as interações intermoleculares são determinantes. E ainda destacamos que a reversibilidade da interação é alcançada em milissegundos, o que nos dá outra evidência de que estamos nos referindo a um fenômeno de interações químicas e não há formação de produtos. Percebemos a importância da água quando afirmamos que estas interações ocorrem em solução. São as moléculas de água que conduzem as moléculas de um composto, como por exemplo, as moléculas de sacarose que evocam sabor doce, até o sítio receptor que estabelece a interação nos botões gustativos localizados na língua (SHALLEMBERGER, 1993). Os diferentes sabores são percebidos com maior ou menor intensidade em diferentes regiões da língua. Podemos observar através da Figura 12 onde se localizam essas regiões e o tipo de sabor que é percebido com maior intensidade.

Assim, como condição essencial para evocar um sabor, o composto necessariamente precisa ser solúvel em água, visto que é através desta que suas moléculas alcançam o receptor. Quando falamos em solubilidade em água, devemos imaginar o processo de solvatação de íons ou de formação de ligações de hidrogênio entre moléculas de água e moléculas de outro composto. Se ocorresse a formação de novos produtos, qualquer substância química solúvel em água teria uma mistura de vários sabores, e a noção de existência dos quatro sabores básicos (doce, amargo, azedo e salgado) provavelmente não poderia ser evidenciada.

³ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

APÊNDICE - O - TEXTO DISPONIBILIZADO AOS ESTUDANTES UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

Chuva ácida e a representação da molécula de água⁴

Uma situação muito comum na maioria dos livros didáticos para ensino médio e em várias referências para ensino superior é o problema da chuva ácida. Atualmente é um dos problemas ambientais mais discutidos na mídia e para o qual há todo um estudo de causas e conseqüências. Sabemos que a principal causa é a atividade industrial, principalmente devido a agentes poluidores da atmosfera como dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NOx). A emissão de material particulado à base de enxofre industrial é a principal causa das conhecidas chuvas ácidas.

Desta maneira, através destas equações podemos entrar com a discussão da questão ácido-base, que é a idéia principal da proposta neste tópico. Hoje em dia, é muito comum a não representação da molécula de água como reagente na equação química. E na realidade é a água a responsável pela definição de chuva ácida, visto que, a espécie H₂SO₄ só é considerada ácida porque estamos definindo acidez e basicidade em água (solvente). Desta maneira, a água deve ser considerada como reagente que proporciona a transferência do próton concomitante à formação da ligação hidrogênio entre as espécies.

É possível abordar a problemática dessa questão ambiental, estabelecendo algumas considerações conceituais que dizem respeito à presença de água como reagente participante do mecanismo de transferência de próton e formação de ligação hidrogênio com o composto considerado como ácido. Desta forma, em uma aula sobre chuva ácida, as perguntas iniciais que podemos colocar são: Por que a tão falada chuva ácida é considerada como ácida? Outro ponto importante a se destacar é que a própria chuva, mesmo sem a presença de agentes poluidores como enxofre, já é naturalmente ácida. Por quê? Para discutir essa provável acidez natural da água da chuva, precisamos considerar o equilíbrio formado entre moléculas de água e o gás carbônico presente na atmosfera (CO₂). Novamente temos a formação de uma espécie (H₂CO₃ – ácido carbônico) que é muito instável em presença de água. O equilíbrio formado está representado em seqüência (a). Percebemos que ocorre um equilíbrio ácido-base devido à presença da água como solvente. (a) H₂CO₃(g) + H₂O(l) = HCO₃⁻(aq) + H₃O⁺(aq).

Percebemos através desses exemplos do dia-a-dia, que é possível discutir as definições de acidez e basicidade em função de conceitos como ligação covalente e interações químicas. Na realidade, ligação hidrogênio e equilíbrio ácido-base são conceitos bem diferentes, porém a formação da ligação hidrogênio é um facilitador da transferência do próton entre espécies (Jeffrey, 1997). E essa transferência de próton entre um composto e as moléculas de água é que condiciona a definição de acidez segundo a definição da teoria protônica em meio aquoso. Desta forma, quando evidenciamos o problema ambiental da chuva ácida, devemos considerar que, entre as moléculas do ácido sulfúrico ou do ácido carbônico estabelecer-se-á ligações hidrogênio com as moléculas de água. E é essa interação que condiciona o enfraquecimento da ligação covalente entre hidrogênio e oxigênio do composto ácido, e posteriormente, a transferência do próton (H⁺) para a molécula de água, facilitada pela ligação hidrogênio. E ainda, utilizando o ácido sulfúrico como exemplo, evidenciou que, o compromisso entre a polaridade da ligação covalente e sua respectiva força é decisivo na formação da ligação hidrogênio, pois se essa ligação covalente for muito forte, não ocorrerá a formação da ligação hidrogênio. E desta maneira, não ocorrerá a transferência do próton para a água. Desta forma, através deste exemplo que está presente no cotidiano das pessoas, que é um problema ambiental bastante comum, deixamos claro que, a ligação hidrogênio é a “chave” para a compreensão da acidez em água, visto que, sua formação é um facilitador da transferência do hidrogênio no meio. Até o momento, apresentamos a formação da ligação hidrogênio entre ácidos de Bronsted-Lowry como HF e HI em presença de água. No entanto, podemos pensar em outra situação também comum e que evidencia além da interação entre diferentes espécies, como por exemplo, água e álcool etílico, mas trás também a participação de espécies do recipiente em que o sistema está contido.

⁴ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

APÊNDICE - P - TEXTO DISPONIBILIZADO PARA OS ESTUDANTES NA UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. DR. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

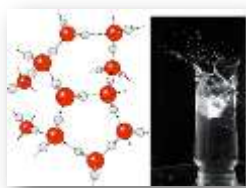
DNA – Ligações Hidrogênio que Codificam a Vida⁵

A representação do ácido desoxirribonucléico está baseada em resultados experimentais de difração de raios-X e consiste de duas cadeias que correm em direções opostas (antiparalelas) se entrelaçando uma com a outra formando a conhecida dupla hélice (Berg et al, 1996). Os pares de bases ficam na parte interna da dupla hélice e a cadeia açúcar – fosfato na parte externa. O diâmetro da dupla hélice é de aproximadamente 20 Å e o comprimento pode ser de milhares de angstroms, sendo que em sua constituição aparecem grupos fosfatos mantidos entre sucessivos grupos de açúcar, neste caso uma pentose (desoxirribose) e uma das quatro bases nitrogenadas heterocíclicas citadas (Lehninger et al, 2005). Voltando nossa atenção à estrutura do duplo filamento, que tipo de força torna possível a interação entre as duas fitas e como esta interação condiciona estabilidade e especificidade ao DNA? Estas questões são fundamentais para compreendermos a natureza e a função do código genético. Desta maneira, a partir de agora, nossa visão em relação ao DNA será como sendo um conjunto de interações químicas entre diferentes espécies. E evidentemente, o destaque será para as ligações hidrogênio que são as principais responsáveis pelo processo tão específico de replicação, e também as responsáveis pela uniformidade de sua estrutura ou por eventuais erros que causam mutações genéticas. Interação que ao mesmo tempo confere estabilidade à molécula, preservando o código genético e mantendo a tão específica seqüência ao longo de sua extensão. A “união” entre o duplo filamento de DNA se dá através de ligações hidrogênio entre os pares de bases nitrogenadas, sendo o pareamento específico. Observamos nas Figuras 31 e 32, respectivamente as representações das bases nitrogenadas citosina e guanina constituintes do DNA. Na base citosina, percebemos que existem três sítios propícios em estabelecer ligações hidrogênio com outra base nitrogenada. Estes prováveis sítios são dois átomos de nitrogênio, em que um está ligado a um átomo de carbono pertencente a um anel aromático, outro é constituinte do próprio anel e o átomo de oxigênio, que está ligado covalentemente a um carbono do anel.

Desta forma, devemos observar a ligação hidrogênio como sendo uma propriedade de grupo, não apenas “olhando” para as espécies diretamente interagidas, mas também para as espécies vizinhas e principalmente para o meio em que se encontram as moléculas. Na estrutura da base guanina, fica evidente a presença de sítios propícios a estabelecer ligações hidrogênio, sendo que neste caso, também são dois átomos de nitrogênio e um átomo de oxigênio e novamente a presença do anel aromático. Assim, considerando que de um lado do filamento duplo existe uma base citosina e do outro lado uma base guanina, o que acontece quando aproximamos uma fita da outra? Ao aproximarmos os dois filamentos que se complementam, ocorrerá um efeito de perturbação entre as espécies envolvidas. Essa perturbação é resultado de um conjunto de forças de atração e repulsão entre os pares de bases envolvidos. Nesse pareamento de bases nitrogenadas, há uma aproximação de átomos que possuem determinada densidade eletrônica em sua região, e que após esse contato, apresentarão ambientes diferentes, mudanças que alteram a estrutura do filamento duplo. Assim, ao parearmos as bases nitrogenadas, é preciso que ocorra uma compensação energética, sem a qual o sistema não estabeleceria interações intermoleculares (Berg et al, 1996). Quando falamos em “situação energeticamente favorável”, devemos associá-la a uma comparação, o antes de formar a ligação hidrogênio e o depois de formá-la. A partir do momento que optamos pelo modelo eletrostático com caráter covalente para a ligação hidrogênio, podemos pensar em uma combinação de orbitais atômicos dos átomos envolvidos das bases nitrogenadas. Ao interagir as espécies por ligação hidrogênio, há um abaixamento de energia do homo e um aumento de energia do lumo, conferindo-lhe uma estabilização energética quando comparada à situação das bases nitrogenadas antes de estabelecerem a ligação hidrogênio. Com essa diferença pronunciada de energia entre homo e lumo, percebemos que existe realmente uma compensação energética na formação da interação intermolecular em discussão. No caso do DNA, a formação da ligação hidrogênio acontece ao parearmos átomos como nitrogênio e oxigênio, em que teremos uma distribuição desigual da densidade eletrônica. Isso acontece visto que em uma ligação química com hidrogênio, ambos os átomos, nitrogênio e oxigênio são as espécies mais eletronegativas, desta forma atrairão a densidade para suas regiões do espaço, o que deixa o hidrogênio desprotegido.

⁵ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química.** (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

APÊNDICE - Q - TEXTO DISPONIBILIZADO PARA OS ESTUDANTES NA UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. DR. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

Papel da ligação hidrogênio na mutação genética.⁶

Até o momento, discutimos alguns aspectos da estrutura do DNA através de modelos químicos, e esta tarefa é um exercício muito interessante, visto que para isso precisamos “mobilizar” vários conceitos extremamente importantes. O destaque é para a formação das ligações hidrogênio, que é a principal responsável no processo de replicação. Este fenômeno mantém a seqüência do código genético, que por sua vez, armazena o “segredo da reprodução da vida”.

Desta forma, Devemos sempre lembrar dos pareamentos entre timina com adenina, e citosina com guanina para tentar compreender como as ligações hidrogênio são fundamentais em uma possível mutação no código genético. A diferença mais evidente entre esses dois pareamentos é que entre adenina e timina temos a formação de duas ligações hidrogênio, já entre citosina e guanina temos a participação de três ligações hidrogênio.

Observando o pareamento, percebemos que através da formação das ligações hidrogênio entre as bases do DNA, há uma possibilidade, ou melhor, um caminho mais rápido e com um menor gasto energético para ocorrer a transferência de hidrogênio (próton) entre as bases interagidas. Essa transferência pode ser através do chamado rearranjo de ligações hidrogênio. Desta forma, o movimento do hidrogênio ou próton leva à formação de estruturas tautoméricas das respectivas bases nitrogenadas. Mas como podemos imaginar esse movimento ou transferência do hidrogênio que pode levar à mutação genética?

Talvez o melhor modelo em química para buscar o entendimento deste processo seja associar esse movimento do hidrogênio entre os pares de bases através de um processo similar ao mecanismo de Grotthuss (sítio internet: www.sbu.ac.uk/water). Na água, para ocorrer a migração do próton (H⁺), as moléculas devem estar associadas em clusters interagidos por ligações hidrogênio. Quanto mais extenso for este cluster, mais rápida é a migração do próton. Esse movimento deve ser seguido por uma reorientação das ligações hidrogênio e uma diminuição do comprimento da interação O...O. A mobilidade do próton em água é cerca de três vezes mais rápida que um outro íon típico qualquer. Segundo o mecanismo de Grotthuss, a migração do próton não é de fato um movimento real de um íon através de um solvente como água, mas na realidade é um rearranjo cooperativo de ligações. Através da Figura 35, podemos observar uma representação deste mecanismo.

Eigen mostra que um hidrogênio permanece na posição final de uma ligação hidrogênio (O – H O) por um tempo estimado entre 1 a 4 ps antes de saltar e formar outra interação (O – H O). Esse mecanismo evidencia a expressiva labilidade da espécie O – H. Entretanto, ao tentarmos associar este mecanismo de movimento do hidrogênio em água para o movimento de hidrogênio entre os pares de bases do DNA, devemos pensar em algumas variáveis que condicionam esta transferência. A migração do próton depende das bases nitrogenadas envolvidas, das bases nitrogenadas na vizinhança e principalmente do meio em que o sistema está inserido, que no caso do DNA é a água. Outro ponto importante que não podemos esquecer é que ao utilizarmos o rearranjo de ligações hidrogênio para justificar a transferência de hidrogênio entre as bases, não podemos “misturar” conceitos. Ligação hidrogênio e transferência de próton são conceitos diferentes, sendo que a formação da ligação hidrogênio facilita a migração do hidrogênio. Muitos estudiosos consideram a transferência de hidrogênio como a mais importante propriedade da ligação hidrogênio (Jeffrey, 1997). Desta maneira, considerando o pareamento entre as bases nitrogenadas do DNA, o movimento do hidrogênio se dá pelo rearranjo de ligações hidrogênio e covalente durante o chamado tautomerismo (McClellan, 1967). Assim, será que podemos dizer que a existência de estruturas tautoméricas das bases do DNA pode causar mutações? A partir do momento que estas formas tautoméricas não se comportam normalmente, ou seja, formam e reestabelecem as ligações hidrogênio apropriadas no processo de replicação, uma mudança ou uma perda de informação genética pode levar a uma mutação. O pareamento errôneo no processo de replicação pode causar uma mutação quando não for eliminado pelo próprio organismo, através de mecanismos de reparos. Contudo, eventualmente, pode ocorrer o equilíbrio de formas tautoméricas das bases nitrogenadas, que é caracterizado

⁶ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

pela migração do hidrogênio de um sítio para outro na base nitrogenada. Através das Figuras 36 e 37 podemos observar o equilíbrio tautomérico para as bases adenina e timina do DNA.

Essas modificações que eventualmente ocorrem entre pares de bases possuem uma ocorrência aleatória, de origem espontânea. No caso da tautomerização, temos apenas um exemplo de modificação química das bases que pode levar à uma mutação. Como já foi explicitado antes, alterações químicas por diversas causas são comuns na estrutura do código genético, no entanto, os organismos possuem mecanismo de reparo. Quando o erro não é eliminado pelo mecanismo de reparo, o mesmo pode se tornar uma mutação genética. Observando as Figuras 38 e 39 podemos notar uma modificação química importante no pareamento de bases do DNA. Se a forma tautomérica menos estável da adenina prevalecer na estrutura do ácido nucléico, a mesma pode interagir erroneamente com outra base nitrogenada, como por exemplo, a citosina. O mesmo processo pode ocorrer com a base timina, sendo que sua forma tautomérica menos estável pode interagir com uma base guanina. Esses pareamentos errôneos podem persistir na estrutura do código genético sem serem percebidos por mecanismos de reparo do próprio organismo. Isso provoca uma mudança na seqüência do DNA implicando em mudança de funções no sistema vivo. A transferência de informações do DNA para proteínas durante a síntese é também acompanhada pela formação de ligações hidrogênio entre pares de bases. Desta maneira, uma pequena alteração no código, ainda que seja pontual, pode acarretar em uma formação errônea de proteínas e enzimas que possuem atividades específicas no organismo. Uma das prováveis causas da formação de câncer em certas espécies é a interação errônea entre bases modificadas na seqüência do ácido desoxirribonucléico.

APÊNDICE - R - TEXTO DISPONIBILIZADO PARA OS ESTUDANTES NA UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

Ação dos anticoagulantes no corpo humano: ligações hidrogênio fracas como protagonistas ⁷

Este item tem por objetivo apenas evidenciar um problema comum, interessante, que é a importância das ligações hidrogênio fracas. O mecanismo de ação dos anticoagulantes não é o foco principal, mas apenas evidenciar um fato curioso que envolve a formação das ligações hidrogênio. A ligação de uma droga ou medicamento com seu receptor é efetivada por forças de van der Waals, interações eletrostáticas, interações de empilhamento $\pi \dots \pi$ e é claro também por ligações hidrogênio fortes e fracas. A disposição espacial dos grupos funcionais deve ser conhecida, visto que a direcionalidade das interações intermoleculares do receptor-substrato tem que ser determinada. O conhecimento da natureza destas interações intermoleculares novamente assume grande importância. Neste contexto, vamos examinar o papel das ligações hidrogênio fracas em um caso selecionado de reconhecimento droga-receptor, que é a ação das drogas anticoagulantes e seu papel efetivo neste tipo de processo. Nos últimos anos, houve um interesse crescente no desenvolvimento de novas drogas antitrombóticas com efeito anticoagulante. Em destaque, estratégias de inibição de trombogênese dirigiram-se à inibição da trombina, à prevenção da sua geração e ao bloqueio do início da coagulação (Oliveira et al, 2001). A trombina é composta de 295 aminoácidos que formam duas cadeias de polipeptídeos, unidas por um ponte dissulfeto simples. Esta molécula possui três sítios funcionais, sendo constituídos de: sítio ativo, sítio externo de ligação aniónica que possui o sítio de reconhecimento do fibrinogênio e o terceiro é o sítio de ligação apolar que está localizado próximo ao sítio ativo e pode ser importante para a ligação da fibrina (Maffei et al, 2001). Engh descreveu as estruturas de três inibidores complexados com a enzima trombina que é uma protease serina similar à tripsina, sendo que seu objetivo principal era desenvolver novas drogas antitrombóticas. Dois dos inibidores são baseados no 4-amino-piridina (4AP) e um no naftamidina. Baseado nas observações da seletividade do inibidor 4-amino-piridina protonado para trombina, indicava a formação de ligação hidrogênio C – H \dots O com alguns sítios da molécula e também com moléculas de água. Na realidade, quando analisamos a molécula do inibidor com a molécula de trombina, percebemos diversas ligações hidrogênio, sendo várias fortes e algumas fracas. A observação que um inibidor está diretamente envolvido em interações e indiretamente muda a rede de ligações hidrogênio e altera também a conformação local da proteína. Além disso, o papel das moléculas de água ilustra que a ligação receptordroga não envolve só duas moléculas de água como é assumido simplificada, mas também, interações com moléculas do solvente (Steiner et al, 1993). Ligações hidrogênio do tipo C – H \dots O e C – H \dots π frequentemente são vistas em proteínas. E essas interações são fundamentais na ação do inibidor do sítio ativo de uma molécula de trombina no processo de coagulação sanguínea. Percebemos que, neste tipo de interação em que temos a presença de uma droga anticoagulante do sangue, as ligações hidrogênio responsáveis pelo mecanismo de ação, são consideradas como fracas. Entretanto, sua natureza majoritariamente eletrostática, mas com uma pequena e importante componente covalente, proporciona a interação anticoagulante-trombina. Inibidores podem causar mudanças conformacionais em muitos sítios de interação, e isso gera alguns deslocamentos de alguns grupos em interação. No entanto, o que queremos deixar evidente neste item, é que as ligações hidrogênio fracas muitas vezes nem são consideradas em muitas análises, entretanto, muitas vezes são fundamentais. A ação de algumas drogas anticoagulantes é um caso evidente desta participação das ligações hidrogênio fracas. A energia estimada destas interações é de 0,3kcal/mol, sendo que esse valor pode ser aumentado, dependendo da natureza de grupos na molécula que aumentam a polarização (Engh et al, 1996). A interação entre as moléculas de trombina e do anticoagulante envolvem outros tipos de interações como ligações hidrogênio fortes, interações hidrofóbicas e forças de van der Waals. No entanto, como colocamos no título, em algumas conformações adotadas pela molécula, as ligações hidrogênio fracas atuam como protagonistas, sendo as responsáveis pelo efeito anticoagulante do sistema interagido.

⁷ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

APÊNDICE - S - TEXTO DISPONIBILIZADO PARA OS ESTUDANTES NA UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

Encontro das águas dos rios Negro e Solimões – ausência de ligações hidrogênio na água?⁸

O chamado encontro das águas é um fenômeno natural, provocado pela confluência das águas escuras do Rio Negro com as águas barrentas do Rio Solimões. A junção de ambos os rios, formadores do rio Amazonas, é marcada por uma característica: suas águas escuras e claras, respectivamente, dão a impressão de correr lado a lado por quilômetros. O primeiro estudo sobre essa junção, feito pelo hidrólogo francês Alain Laraque, do Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (IRD), mostra que, na realidade, as águas do rio Solimões correm ao lado e por baixo do Negro. Mas se ambos são formados por água, por que elas não se misturam? Para discutirmos essa questão, levantada em função deste fenômeno “espetacular” da natureza, precisamos conhecer algumas características peculiares de cada um dos rios. O rio Solimões, originário dos Andes, traz muitas partículas em suspensão, o que explica sua cor esbranquiçada. Ele é muito mais denso que o Negro, tem condutividade elétrica dez vezes superior e sua vazão e velocidade são cerca de três vezes maiores. Suas águas são básicas ou neutras, abundantes em nutrientes e carregam sedimentos ricos em sais minerais como cálcio, magnésio e potássio. O rio Negro possui uma temperatura mais alta e sua água é mais ácida. A profundidade das águas é outra grande diferença entre os rios. A do Negro é de 30 a 35 metros, enquanto a do Solimões pode chegar a 80 metros. O rio Negro apresenta água de cor escura e translúcida. As rochas da região das nascentes são muito antigas e produzem poucos sedimentos. As águas escuras do rio Negro apresentam baixa carga de sedimentos. Há uma grande concentração de carbono e ácidos orgânicos segundo Patrick Seyler. Essas águas têm a grande vantagem de serem pouco propensas ao desenvolvimento de larvas e insetos hematófagos devido à sua acidez. Por uma extensão de mais de 6 km, as águas dos dois rios correm lado a lado sem se misturar. Esse fenômeno acontece em decorrência da diferença entre a temperatura e densidade das águas e, ainda, à velocidade de suas correntezas: o Rio Negro corre cerca de 2 km/h a uma temperatura de 22°C, enquanto que o Rio Solimões corre de 4 a 6 km/h a uma temperatura de 28°C.

Doze quilômetros depois do encontro dos rios, as águas do Negro já estão bastante afetadas pelas do Solimões. No entanto, a homogeneização completa dos rios só acontece 100 quilômetros depois. Ela é retardada pela chegada, na margem esquerda do Amazonas, dos rios Preto da Eva e Urubu, de águas negras, e na margem direita, do Madeira - também de origem andina e águas brancas - e de um braço do Solimões que contorna a ilha de Careiro. Dada a dissolução nas águas dos rios de substâncias diferentes ou em diferentes concentrações, elas não apresentam densidades iguais, tendo dificuldade de se misturarem. Na realidade, no início do encontro das águas, não há formação de ligações hidrogênio entre moléculas de água de rios diferentes, visto que, não há mistura entre as diferentes águas por cerca de 6 km. Só após um determinado espaço, de cerca de 12 km, é que elas começam a interagir entre si. Contudo, no começo, eventualmente algumas moléculas de águas de rios diferentes estabelecem interação, em um número menor de ligações hidrogênio. Mas, por que a ligação hidrogênio não se estabelece entre “as duas águas”, ou melhor, entre as águas dos dois rios? Será que são as impurezas que determinam isso? A idéia principal que precisamos pensar, para entender o porquê de essas águas não se misturarem, é que, a mudança de densidade é diferente da proposta do item 3.2. Nos exemplos desse tópico citado, estávamos considerando apenas moléculas de água. No entanto, quando discutimos a água dos rios, devemos imaginar que, além de água, temos a presença de muitas impurezas dissolvidas e em suspensão na água. Este simples fato altera, totalmente, o arranjo das moléculas de água. Por isso, é afirmado que as águas do rio Solimões, com mais impurezas dissolvidas e em suspensão, são mais densas que do rio Negro. O que está ocorrendo é que, existe interação da moléculas de água com as impurezas. Claro que muitas impurezas estão em suspensão, porém, muitas estão dissolvidas em água. Assim, o arranjo das moléculas de água do rio Solimões, que é mais barrento e possui mais sais dissolvidos, é diferente dos aglomerados de moléculas de água do rio Negro. O que condiciona estes clusters diferentes, provavelmente, são as interações íon-dipolo entre sais dissolvidos e moléculas de água. Ao longo da extensão do encontro das águas, estas interações se tornam mais fracas e as interações moleculares por ligação hidrogênio começam a manifestar com mais intensidade, e principalmente, em um número maior.

⁸ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química.** (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

APÊNDICE - T - TEXTO DISPONIBILIZADO PARA OS ESTUDANTES NA UD 3.



LIGAÇÕES HIDROGÊNIO NO COTIDIANO - UMA CONTRIBUIÇÃO

PARA O ENSINO DE QUÍMICA

ADRIANO DE SOUZA REIS

ORIENTADOR: PROF. Dr. PEDRO FARIA DOS SANTOS FILHO

Interações intermoleculares e a silicose⁹

Os operários das indústrias de cerâmica, vidro e aço (siderurgia), principalmente os que operam com broqueamento, detonação e trituração de minérios ou com moagem e peneiramento de matérias-primas ou ainda com o desbaste polimento de peças, estão em constantemente sujeitos à inalação de poeiras, podendo provocar sérios danos ao organismo, particularmente ao pulmão, induzindo doenças crônicas, denominadas pneumoconioses.

Há dois tipos principais de pneumoconioses: as não colágenas e as colágenas. As pneumoconioses não colágenas são provocadas por poeiras de matérias não fibrosas, no entanto, os danos causados ao organismo podem ser revertidos. As pneumoconioses colágenas são provocadas por poeiras de materiais fibrosos como as de sílica (silicose) e de asbesto (asbestose) e causam danos irreversíveis, como a destruição da estrutura alveolar, endurecimento das fibras colágenas do estroma pulmonar e cicatrização permanente do pulmão.

No caso específico da silicose, foram elaboradas muitas teorias para tentar explicar como a sílica produz suas lesões nodulares características do tecido pulmonar. A teoria aceita atualmente é a seguinte: O pulmão contém células denominadas macrófagos (células de defesa do organismo), cuja função é capturar e digerir corpos estranhos no organismo, como bactérias e partículas de poeira, por exemplo. O volume, o aspecto e a função dos macrófagos fazem-nos parecidos com os leucócitos. Os macrófagos movimentam-se por meio de pseudópodos. Localizam, englobam e destroem os corpos estranhos por ação lisossômica, liberando substâncias (enzimas) que literalmente digerem o invasor.

Este processo é denominado fagocitose, e o que os pesquisadores descobriram foi basicamente o seguinte:

A sílica (na sua forma cristalina) teria um efeito tóxico seletivo sobre os macrófagos, que se auto digerem após terem fagocitado partículas de poeira dessa substância. A lise (quebra) dos macrófagos pelo quartzo ocorreria em função da formação de ligação hidrogênio entre os grupos SiOH formados pela dissolução da sílica na superfície do quartzo e átomos de oxigênio e nitrogênio que compõem a estrutura lipoprotéica da membrana celular.

A formação ligações hidrogênio produz alteração dessa membrana, com modificação da sua permeabilidade. Essas alterações são iniciadas tão logo as partículas de quartzo entram em contato com a membrana celular externa do macrófago. E quando a partícula é englobada pelo macrófago, a situação torna-se ainda pior, pois as alterações da membrana interna provocam a liberação de enzimas que se espalham pelo citoplasma celular, levando à auto digestão do macrófago.

Essa auto digestão do macrófago, induzida pelo quartzo, inicia uma série de reações biológicas que levam à formação de uma lesão nodular característica, isto é, os macrófagos lesados ou destruídos liberam um “fator fibrogênico” que endurece as fibras colágenas, enrijecendo o tecido pulmonar, o que estimula outros macrófagos a ocuparem o lugar em que havia o depósito de sílica.

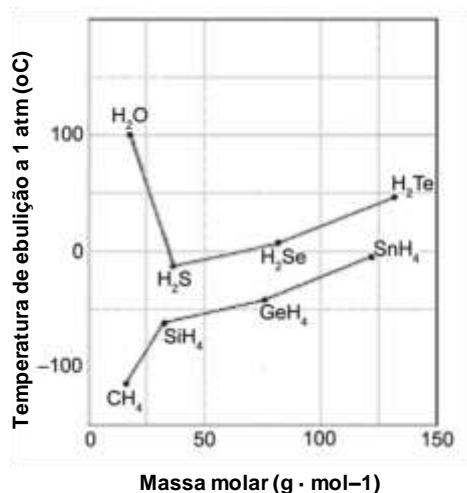
Assim, tem início o processo cíclico destrutivo: os acúmulos de poeira de sílica no pulmão levam à formação de nódulos provenientes de macrófagos que se auto digerem sob a ação das partículas fagocitadas, o que induz a ocupação de outros macrófagos no local. Logo, as áreas de acúmulo de poeira de sílica são também áreas de acúmulo de macrófagos e, conseqüentemente, de formação de nódulos silicóticos de aspecto amorfo, eosinofílico e vítreo.

⁹ REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. (Dissertação de Mestrado). Campinas, São Paulo, 2008.

APÊNDICE - U - ATIVIDADE "INVESTIGANDO O COMPORTAMENTO ANÔMALO DA ÁGUA"

Atividade “investigando o comportamento anômalo da água”.

Observe o gráfico que representa a da temperatura de ebulição de substâncias formadas por hidrogênio e elementos do grupo do carbono e por hidrogênio e elementos do grupo do oxigênio.



Explique o que você acha que acontece com uma determinada substância quando ela sofre uma transformação física, ou seja, quando ela passa, por exemplo, do líquido para o gasoso.

As ligações químicas entre os átomos que formam essas substâncias são do mesmo tipo? Justifique.

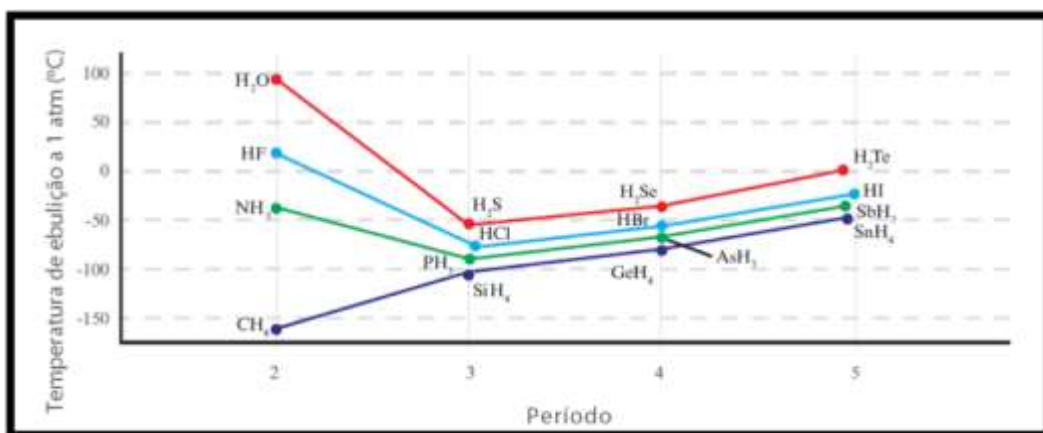
Ao analisar o gráfico, faça uma previsão sobre a variação da temperatura de ebulição em função da variação da massa molar das substâncias. Existe alguma regularidade? Justifique.

Em relação à água e sua temperatura de ebulição, existe um comportamento semelhante ao das outras substâncias do mesmo grupo do oxigênio? Explique sua resposta.

Você considera que as forças de atração entre as moléculas de H₂O são de mesma magnitude que as forças de atração entre as moléculas de H₂S, de H₂Se e de H₂Te? Que tipo de interação mantém essas moléculas unidas? **Proponha um modelo de como você imagina que ocorre a atração entre as moléculas de água, bem como um modelo que expresse a diferença, se caso exista, entre as outras moléculas.**

APÊNDICE - V - ATIVIDADE DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS ELABORADOS.

Atividade Unidade Didática 3



Como você explicaria as temperaturas de ebulição tão diferentes do HF e do NH₃ em relação às propriedades da família 7A (Halogênios) e 5A (Nitrogênio), respectivamente. O modelo de ligações hidrogênio, que você desenvolveu na atividade anterior, que explica o comportamento da H₂O em relação à temperatura de ebulição seria útil, também, para explicar as temperaturas de ebulição do HF e do NH₃? Justifique sua resposta.

Represente com um desenho como as moléculas de HF e de NH₃ se manteriam unidas segundo esse modelo.

Resposta e desenho pictográfico

APÊNDICE - W - QUESTIONÁRIO FINAL UD 3 (UD3F)

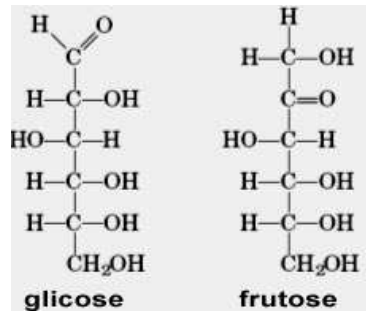
Nome: _____ Idade: _____

1. O que você entende por ligação hidrogênio?

2. Em sua opinião, por que os compostos HF, NH₃ e H₂O apresentam elevados pontos de fusão e de ebulição quando comparados a H₂S e HCl, por exemplo? Justifique.

3. A água é o composto mais abundante na superfície do planeta e de fundamental importância para a evolução da vida, possuindo a maior participação em diversos fenômenos que ocorrem em nosso cotidiano. Você saberia identificar quais as interações estão presentes entre as moléculas de água? Proponha um modelo que represente essas interações.

4. Muitos adultos e crianças gostam de assoprar bolhas de sabão. Uma dica para deixar as bolhas de sabão mais resistentes e maiores, é acrescentar xarope de milho (que contém 90% de glicose e 10% de frutose) à água com detergente. Baseado na fórmula estrutural da glicose e da frutose e em seus conhecimentos de forças intermoleculares, explique por que a bolha de sabão fica mais resistente nesse caso.



5. Observe a tabela abaixo:

SUBSTÂNCIA	→	P. E. (°C)
H ₂ O	→	+ 100,0
H ₂ S	→	- 60,3
H ₂ Se	→	- 41,3
H ₂ Te	→	- 2,2

Você saberia explicar por que o ponto de ebulição da água é anômalo em relação aos demais compostos da família do oxigênio. Justifique

7. (Fuvest – adaptada) Um funcionário de uma empresa ficou encarregado de remover resíduos de diferentes polímeros que estavam aderidos a diversas peças. Após alguma investigação, o funcionário classificou as peças em três grupos, conforme o polímero aderido a cada uma.

Para remover os resíduos de polímero das peças, o funcionário dispunha de apenas dois solventes: água e n-hexano. O funcionário analisou as fórmulas estruturais dos três polímeros e procurou fazer a correspondência entre cada polímero e o solvente mais adequado para solubilizá-lo. Como você faria essa correspondência?

7. Muitas vezes nos deparamos com algumas situações bem intrigantes e que nos levam a pensar nas razões que condicionam a ocorrência destes fenômenos. Por exemplo, por que devemos ter certos cuidados ao armazenar determinados tipos de alimentos no refrigerador? Quando colocamos esta questão, queremos, na realidade, destacar algumas questões como: por que dois bifés fatiados, se colocados juntos, se unem? Ou por que dois picolés sem embalagem também se unem? Ou mesmo quando se coloca fatias de queijo uma sobre a outra, depois fica difícil de separá-las. E ainda percebemos que, se colocarmos a mão sobre gelo contido no refrigerador, esta se “gruda” no gelo (FARIAS, 2008). **Como você explicaria esses fenômenos?**

--

APÊNDICE - X - QUESTIONÁRIO FINAL DA SD (SDF)

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: _____

1. O que você entende por forças intermoleculares?

2. Quais as diferenças entre interações intermoleculares e intramoleculares? Caracterize as forças intermoleculares que agem nas substâncias moleculares. Como estas forças influenciam as propriedades físicas destas substâncias?

3. Em sua opinião, que tipo **de interação** poderia ocorrer entre as moléculas de substâncias que fazem parte de seu dia a dia, como o etanol, o ácido acético, o propano (presente no gás liquefeito de petróleo – GLP), o gás nitrogênio e o gás oxigênio (componentes do ar atmosférico). Além de identificar a interação presente, elabore um modelo que represente (submicroscópico) essas interações. Desta forma, identifique a força intermolecular, a ligação e química e elabore um modelo para cada uma das substâncias abaixo.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">a) Etanolb) Ácido Acéticoc) Propanod) N₂e) O₂ |
|---|

4. A solubilidade dos compostos é um conhecimento muito importante em química. Sabe-se que, Em um laboratório, massas iguais de tetracloreto de carbono, água e etanol foram colocadas em três recipientes idênticos, conforme se vê na figura a seguir.

I. 6mL de tetracloreto de carbono;

II. 10mL de água;

III. 13mL de etanol.

a) Mostre, por meio de desenhos, como fica a mistura de I e II, identificando cada substância e as interações presentes.

b) Como fica a mistura de II e III?

c) A graxa lubrificante utilizada em automóveis é uma mistura de hidrocarbonetos pesados derivados de petróleo com aditivos diversos. Indique qual, dentre os três solventes apresentados, é o mais adequado para remover uma mancha de graxa em uma camisa. **Justifique sua resposta.**

5. As forças intermoleculares são responsáveis por várias propriedades físicas e químicas das moléculas, como, por exemplo, a temperatura de fusão e ebulição. Considere as moléculas de **F₂, Cl₂ e Br₂, H₂O e HCl**.

d) Quais as principais forças intermoleculares presentes nessas espécies?

e) De acordo com seus conhecimentos faça uma previsão e ordene essas espécies em ordem crescente de temperatura de fusão e justifique sua resposta.

f) Explique o que você acha que acontece com uma determinada substância quando ela sofre uma transformação física, ou seja, quando ela passa, por exemplo, do líquido para o gasoso.

6. Complete o quadro com as moléculas das substâncias moleculares listadas abaixo.

a) Amônia (NH₃). b) Água (H₂O). c) Acetaldeído (CH₂O). d) Bromo (Br₂).

e) Acetona (C₃H₆O). f) dióxido de carbono (CO₂)

Interação	Substâncias	Conceito	Modelo (desenho)
Forças de London			
Interação dipolo-dipolo			
Ligação Hidrogênio			

7. O que você entende por ligação hidrogênio?

8. Em sua opinião, por que os compostos HF, NH₃ e H₂O apresentam elevados pontos de fusão e de ebulição quando comparados a H₂S e HCl, por exemplo? Justifique.

9. Responda e justifique.

Para remover os resíduos de polímero das peças, um funcionário dispunha de dois solventes: água e n-hexano. O funcionário analisou as fórmulas estruturais dos três polímeros e procurou fazer a correspondência entre cada polímero e o solvente mais adequado para solubilizá-lo. Como você faria essa correspondência?

APÊNDICE Y – TABELAS DE RESULTADOS PARA A PRIMEIRA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA AS TRÊS DIMENSÕES

Natureza das forças intermoleculares: Fase inicial						
Estudante	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q14
E1	2	1	3	1	1	1
E2	1	1	1	1	1	1
E3	2	3	2	1	1	1
E4	3	2	3	2	2	1
E5	1	2	1	2	2	2
E6	1	2	1	2	2	1
E7	2	2	1	3	3	3
E8	2	2	1	1	1	1
E9	2	2	1	2	2	2
E10	1	1	1	1	1	2
E11	3	1	1	2	2	3
E12	2	2	1	3	2	3
E13	2	2	1	3	2	2
E14	2	3	2	2	2	1
E15	2	2	2	2	2	2
E16	1	1	1	2	2	2
E17	1	1	1	2	2	2
E18	1	1	2	1	1	1
E19	1	1	1	2	2	2
E20	2	2	1	2	2	2
E21	3	2	1	1	1	1
E22	1	1	2	1	1	2
E23	1	1	1	1	1	2
E24	2	1	1	3	2	2
E25	2	2	1	1	1	1
E26	3	1	1	2	2	2
E27	1	1	1	2	2	2
E28	3	1	1	1	1	2
E29	1	1	1	1	1	1

Natureza das forças intermoleculares: Fase Intermediária					
Estudante	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
E1	3	3	2	3	3
E2	3	2	2	3	3
E3	3	3	3	3	3
E4	2	2	3	3	3
E5	2	1	2	2	2
E6	2	2	2	2	2
E7	3	3	3	3	3
E8	2	2	2	1	1
E9	2	2	2	2	2
E10	3	2	3	2	3
E11	2	3	2	2	2
E12	2	2	2	2	2
E13	2	2	2	2	2
E14	2	3	3	3	2
E15	2	2	2	2	2
E16	3	3	2	3	2
E17	3	3	3	3	2
E18	2	3	3	2	2
E19	2	2	2	2	2
E20	2	1	1	1	1
E21	3	2	2	2	2
E22	2	1	2	2	2
E23	1	1	1	1	2
E24	3	3	3	3	3
E25	2	2	2	2	1
E26	2	2	2	2	1
E27	2	2	2	2	2
E28	2	2	2	2	2
E29	1	2	2	2	1

Natureza das forças intermoleculares: Fase Final						
Estudante	Q1	Q2	Q5a	Q5b	Q5c	Q9
E1	2	3	3	3	3	3
E2	3	3	3	3	3	3
E3	3	3	3	3	3	3
E4	3	3	3	3	3	3
E5	3	3	3	3	3	3
E6	3	3	2	2	2	2
E7	3	3	3	3	3	3
E8	2	2	2	2	2	2
E9	3	3	2	3	3	3
E10	2	3	2	3	2	2
E11	3	2	2	2	2	2
E12	2	3	2	2	2	2
E13	2	2	2	2	2	2
E14	2	2	2	2	2	2
E15	2	2	2	2	2	2
E16	3	3	3	3	3	3
E17	2	3	3	3	2	2
E18	2	2	2	2	2	2
E19	2	3	2	3	3	2
E20	2	2	2	2	2	2
E21	2	2	2	2	1	2
E22	2	1	2	2	2	2
E23	2	2	2	2	2	1
E24	2	2	2	3	1	1
E25	3	3	3	2	3	3
E26	2	2	2	2	2	2
E27	2	2	2	2	2	2
E28	2	2	2	2	2	1
E29	1	1	2	1	1	1

Dipolo-dipolo e Forças de London - Fase inicial					
Estudante	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
E1	2	2	1	2	2
E2	1	1	1	1	1
E3	1	2	1	1	2
E4	2	2	2	2	2
E5	2	2	1	2	1
E6	1	1	2	2	2
E7	2	2	2	1	2
E8	2	2	2	2	2
E9	2	1	2	2	1
E10	3	2	2	3	3
E11	2	2	1	2	1
E12	2	2	2	1	2
E13	2	2	1	1	1
E14	2	2	2	1	2
E15	1	1	2	1	1
E16	2	2	2	1	2
E17	1	2	3	2	2
E18	2	2	2	1	2
E19	1	1	1	1	2
E20	1	1	1	1	1
E21	1	1	2	1	1
E22	1	2	2	2	2
E23	1	1	1	1	1
E24	1	2	2	2	1
E25	1	1	1	1	1
E26	2	2	2	2	2
E27	2	2	2	1	2
E28	2	2	2	1	2
E29	1	2	2	1	2

Dipolo-dipolo e Forças de London - Fase intermediária					
Estudante	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
E1	3	3	3	2	3
E2	3	2	3	2	2
E3	3	3	3	3	2
E4	3	3	2	3	3
E5	3	3	2	3	3
E6	2	3	3	2	3
E7	3	3	3	2	3
E8	3	3	3	3	3
E9	3	3	3	3	3
E10	3	3	3	3	3
E11	3	2	3	3	2
E12	3	3	3	2	3
E13	2	2	2	3	2
E14	3	3	3	2	3
E15	2	2	2	2	2
E16	3	3	3	3	3
E17	3	2	3	3	2
E18	3	3	3	3	3
E19	3	2	3	2	3
E20	1	1	2	2	2
E21	3	2	3	2	3
E22	1	2	2	2	2
E23	2	2	2	3	2
E24	3	3	3	3	3
E25	3	3	3	3	3
E26	2	2	3	2	3
E27	2	3	3	3	3
E28	3	3	3	3	3
E29	3	2	2	2	2

Dipolo-dipolo e Forças de London - Fase Final			
Estudante	4a	4b	5a
E1	2	3	3
E2	2	2	3
E3	3	2	3
E4	3	2	3
E5	3	3	2
E6	2	3	3
E7	3	2	3
E8	3	3	3
E9	3	3	3
E10	3	3	3
E11	3	2	3
E12	3	2	3
E13	2	2	3
E14	3	3	3
E15	2	2	2
E16	3	3	3
E17	3	2	3
E18	3	2	3
E19	3	2	2
E20	2	2	2
E21	2	3	3
E22	2	2	2
E23	2	2	2
E24	3	3	3
E25	3	3	3
E26	3	2	2
E27	3	2	3
E28	3	3	3
E29	3	2	2

APÊNDICE Z – SCORE FINAL PARA CADA ESTUDANTE POR FASE DA PESQUISA

Resultados da primeira dimensão Natureza das forças intermoleculares

Estudante	Fase Inicial	Fase Intermediária	Fase Final
E1	1,5	2,8	2,8
E2	1,0	2,6	3,0
E3	1,7	3,0	3,0
E4	2,2	2,6	3,0
E5	1,7	1,8	3,0
E6	1,5	2,0	2,3
E7	2,3	3,0	3,0
E8	1,3	1,6	2,0
E9	1,8	2,0	2,8
E10	1,2	2,6	2,3
E11	2,0	2,2	2,2
E12	2,2	2,0	2,2
E13	2,0	2,0	2,0
E14	2,0	2,6	2,0
E15	2,0	2,0	2,0
E16	1,5	2,6	3,0
E17	1,5	2,8	2,5
E18	1,2	2,4	2,0
E19	1,5	2,0	2,5
E20	1,8	1,2	2,0
E21	1,5	2,2	1,8
E22	1,3	1,8	1,8
E23	1,2	1,2	1,8
E24	1,8	3,0	1,8
E25	1,3	1,8	2,8
E26	1,8	1,8	2,0
E27	1,5	2,0	2,0
E28	1,5	2,0	1,8
E29	1,0	1,6	1,2

Resultados da segunda dimensão Forças de London e Dipolo-dipolo

Estudante	Inicial	Intermediária	Final
E1	1,8	2,8	2,6
E2	1	2,4	2,3
E3	1,4	2,8	2,6
E4	2	2,8	2,6
E5	1,6	2,8	2,6
E6	1,6	2,6	2,6
E7	1,8	2,8	2,6
E8	2	3	3
E9	1,6	3	3
E10	2,6	3	3
E11	1,6	2,6	2,6
E12	1,8	2,8	2,6
E13	1,4	2,2	2,3
E14	1,8	2,8	3
E15	1,2	2	2
E16	1,8	3	3
E17	2	2,6	2,6
E18	1,8	3	2,6
E19	1,2	2,6	2,3
E20	1	1,6	2
E21	1,2	2,6	2,6
E22	1,8	1,8	2
E23	1	2,2	2
E24	1,6	3	3
E25	1	3	3
E26	2	2,4	2,3
E27	1,8	2,8	2,6
E28	1,8	3	3
E29	1,6	2,2	2,3