Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Biociências

Faculdade de Educação

Miriam Possar do Carmo

**O Desenvolvimento Conceitual de Estudantes sobre a
Estrutura da Matéria e sua Utilização na Explicação de
Fenômenos: Um Estudo Longitudinal**

São Paulo

2015

MIRIAM POSSAR DO CARMO

**O Desenvolvimento Conceitual de Estudantes sobre a Estrutura da
Matéria e sua Utilização na Explicação de Fenômenos: Um Estudo
Longitudinal**

Tese apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências, modalidade Química.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Eunice Ribeiro Marcondes

São Paulo

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Carmo, Miriam Possar do

O desenvolvimento conceitual de estudantes sobre a estrutura da matéria e sua utilização na explicação de fenômenos: um estudo longitudinal. São Paulo, 2015.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Maria Eunice Ribeiro Marcondes

Área de Concentração: Ensino de Química.

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Desenvolvimento conceitual; 3. Estudo longitudinal; 4. Estrutura da matéria.

USP/IF/SBI-047/2015

MIRIAM POSSAR DO CARMO

O Desenvolvimento Conceitual de Estudantes sobre a Estrutura da Matéria e sua Utilização na Explicação de Fenômenos: Um Estudo Longitudinal

Tese apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências, modalidade Química.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Maria Eunice Ribeiro Marcondes (orientadora)

Instituição: IQ-USP

Assinatura: _____

Profa. Dra. Jesuína Lopes de Almeida Pacca.

Instituição: IF-USP

Profa. Dra. Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani

Instituição: UNESP

Prof. Dr. José Claudio Del Pino

Instituição: UFRGS

Prof. Dr. Marco Antonio Bueno Filho

Instituição: UFABC

*Dedico este trabalho a minha filha Ana Paula, como um exemplo de conquista, para
que ela nunca desista de seus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

A ANA PAULA, minha filha amada, maior presente que Deus me deu. Vibrou com cada conquista por mim realizada nesta etapa, sempre me incentivando a continuar. Ao Edilson, meu marido e meu porto seguro, apoio e constante presença companheira.

À minha mãe querida, pela sabedoria em me educar e me tornar a pessoa que sou. E na sua simplicidade sempre está ao meu lado nas horas mais difíceis.

A Márcia e Marta, minhas irmãs e meus anjos, compartilharam comigo cada minuto dessa trajetória.

À professora Maria Eunice, pela maneira que mediou a construção do meu conhecimento nesse processo de orientação, com todo seu zelo, competência, dedicação e carinho, fortalecendo a cada instante uma relação de respeito e amizade. Às minhas amigas queridas, Rita, Luciane, Susan, Simone, que com toda atenção e paciência me deram seus ombros amigos para que eu pudesse me apoiar e chegar a concretização deste trabalho.

Aos amigos do GEPEQ, Fábio, João, Naãma, Terezinha, Izabella, Mara, Viviani, Alexandra, Fátima, Lílian pelas horas gostosas de risos e trocas de experiências.

Às minhas amigas queridas, Maria de Fátima e Maria Cristina, por todo apoio nas horas mais difíceis.

Aos estudantes e as professoras, Filomena e Mariza, que participaram da minha pesquisa e me auxiliaram a compreender algumas das dificuldades conceituais que fazem parte do processo de ensino e aprendizagem.

“Não haveria criatividade sem a curiosidade que nos move e que nos põe
pacientemente impacientes diante do mundo que não fizemos, acrescentando a ele
algo que fazemos”.
Paulo Freire.

RESUMO

CARMO, M. P. **O desenvolvimento conceitual de estudantes sobre a estrutura da matéria e sua utilização na explicação de fenômenos: um estudo longitudinal.** 2015. 338 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

Este estudo teve como objetivo verificar como ocorre e se desenvolve a construção dos conceitos acerca da estrutura da matéria e quais as dificuldades envolvidas nesse processo de aprendizagem. Para esta finalidade foi realizado um estudo longitudinal com um grupo de alunos ao longo do ensino médio. O estudo apresenta a análise do desenvolvimento conceitual desses estudantes, ao manifestarem explicações sobre fenômenos do seu cotidiano, utilizando ideias sobre a estrutura da matéria. Foram empregadas três dimensões de análise: natureza corpuscular da matéria (1ª dimensão), natureza elétrica da matéria (2ª dimensão) e interações intra e interpartículas (3ª dimensão). O estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, participaram 91 alunos de 1ª a 3ª séries de uma escola de Ensino Médio de São Paulo, cujo ensino esteve a cargo de uma mesma professora. A compreensão dos conceitos acerca da estrutura da matéria foi extraída de suas respostas a um questionário contendo questões abertas e fechadas. O conhecimento dos alunos foi avaliado considerando suas respostas em níveis de adequação e compreensão elaborados a partir de uma comparação com respostas de professores especialistas na área de química e de ensino ao mesmo questionário. Verificou-se que as respostas dos alunos se apresentaram entre os níveis de inadequação e parcial adequação com vaga à alguma compreensão na 1ª dimensão de análise para todas as séries. Na 2ª dimensão de análise as respostas foram inadequadas com insuficiente compreensão, entre os alunos da 1ª série, inadequadas com vaga compreensão entre os alunos da 2ª e 3ª séries. Na 3ª dimensão, as respostas foram inadequadas, com insuficiente compreensão entre os alunos das 1ª e 3ª séries, o que implica em avanços e retrocessos do conhecimento dos conceitos e, para a 2ª série, as respostas foram inadequadas com vaga compreensão. Na segunda etapa do estudo, foram acompanhados quatro alunos (A, B, C e D) durante os três anos do Ensino Médio. O conhecimento individual de cada aluno foi extraído de suas respostas a questionários, entrevistas e representações pictóricas. O desenvolvimento conceitual de cada aluno foi avaliado por meio da elaboração de mapas cognitivos a partir de suas manifestações verbais e escritas. Os resultados indicaram que dois dos estudantes desenvolveram uma compreensão gradual dos conceitos acerca da estrutura da matéria, um deles finalizou o ensino com vaga compreensão (A), outro com alguma compreensão (D) e dois deles alcançaram bom nível de compreensão (B e C), estes últimos parecem ter integrado de maneira mais coesa seus conhecimentos, o que indicou que reestruturaram e reorganizaram suas estruturas de conhecimento. O estudo sugere que é necessária uma retomada constante dos conceitos sobre estrutura da matéria, possibilitando ao aluno estabelecer inter-relações conceituais na explicação de fenômenos, de maneira a facilitar uma reestruturação das concepções dos estudantes, tornando a aprendizagem mais significativa.

Palavras-chave: desenvolvimento conceitual, estudo longitudinal, estrutura da matéria.

Abstract

CARMO, M. P. **Students' concept development of structure of matter and its application to explain phenomena: a longitudinal study**. 2015, 338 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015

This study aims to investigate how High School students understand and develop concepts related to structure of matter and how they apply these concepts to explain everyday phenomena related to Chemistry. For this purpose, we conducted a longitudinal study with 91 High School students from 2012 to 2014. The conceptual development of these students was investigated by analyzing their answers to a questionnaire applied in the beginning of the 1st and 2nd grades and in the end of the 3rd grade of High School. In addition, four students were chosen to answer to five interviews conducted over the three years of High School. The students had the same Chemistry teacher in these three years. Students' answers were categorized in three dimensions of analysis elaborated by the researcher: particle model of matter (1st dimension), electrical nature of matter (2nd dimension) and intra- and inter-particle interactions (3rd dimension). The analyses were conducted in two steps. In the first step, the concepts expressed by the 91 students were analyzed according to the three dimensions. Adequacy and comprehension levels were created to categorize students' responses. These levels were elaborated by comparing students' answers to Chemistry experts' answers. The second step consisted of analysis of each of four students (A, B, C, D) during learning process on 1st, 2nd and 3rd grades of High School. The concept development of each student was evaluated through cognitive maps elaborated by the researcher from student's verbal and written manifestations. On the first step, concerning to the 1st dimension of analysis, the students on the three grades showed answers classified in inadequacy and partial adequacy levels, and low comprehension level. For the 2nd dimension, 1st graders' ideas were classified as inadequate with insufficient understanding, the students of 2nd and 3rd grades showed a low level of understanding. On the 3rd dimension, the answers given by students of the 1st and 3rd grades were classified as inadequate, with insufficient understanding. The responses of 2nd grade students were also inadequate but with a little better level of understanding. On the second step, results indicated that students A and D developed a gradual understanding of the concepts concerning the structure of matter. Although, student A has achieved a low level of comprehension, student D has achieved the level of some comprehension. Students B and C achieved good level of understanding and their concepts seem to be closely integrated, which indicates that they have restructured and reorganized their knowledge structures. In conclusion, this study suggests that concepts related to structure of matter should be frequently reviewed in order to enable the student to establish conceptual interrelationships to explain phenomena at sub-microscope level, promote students' conceptions restructuration, and provide meaningful learning during the teaching-learning process.

Key Words: conceptual development, longitudinal study, structure of matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação dos construtos definidos no modelo cognitivo de Marín.....	37
Figura 2 – Representação esquemática do modelo de sobreposição de ondas.	45
Figura 3 – Processo de sobreposição de ondas dinâmicas para a compreensão do conceito de matéria.	46
Figura 4 – Padrão de progressão dos aspectos da matéria e níveis de habilidade dos alunos.....	52
Figura 5 – Resultado em porcentagem da categorização das respostas dos alunos	71
Figura 6 - Nível de Adequação Global das explicações dos alunos da 1ª série, na 1ª	123
Figura 7 - Nível de Adequação Global das explicações dos alunos da 2ª série.....	123
Figura 8 - Nível de Adequação Global das explicações dos alunos da 3ª série.....	123
Figura 9 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 1ª série.	135
Figura 10 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 1ª série.....	135
Figura 11 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópicos dos alunos da 2ª série.	136
Figura 12 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 2ª série.....	137
Figura 13 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 3ª série.	138
Figura 14 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 3ª série.....	138
Figura 15 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 1ª série.....	148
Figura 16 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 1ª série.....	148
Figura 17 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 2ª série.	149
Figura 18 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 2ª série.....	150
Figura 19 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 3ª série.	151

Figura 20 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 3ª série.....	151
Figura 21 - Nível de adequação das explicações dos alunos de 1ª série nas três dimensões de análise: Explicações em nível submicroscópico.....	156
Figura 22 - Nível de adequação dos alunos de 2ª série nas três dimensões de análise: Explicações em nível Submicroscópico.	157
Figura 23 - Nível de adequação dos alunos de 3ª série nas três dimensões de análise: Explicações em nível Submicroscópico.	158
Figura 24 - Níveis de compreensão dos alunos da 1ª série do Ensino Médio acerca de ideias sobre a Natureza da Matéria.....	162
Figura 25 - Níveis de compreensão dos alunos da 2ª série do Ensino Médio acerca de ideias sobre a Natureza da Matéria.....	162
Figura 26 - Níveis de compreensão dos alunos da 3ª série do Ensino Médio acerca de ideias sobre a Natureza da Matéria.....	163
Figura 27 - Nível de Compreensão das Explicações dos Alunos - 2ª. dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria - 1ª Série do Ensino Médio.	166
Figura 28 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 2ª dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria - 2ª Série do Ensino Médio.	167
Figura 29 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 2ª. dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria - 3ª Série do Ensino Médio.	167
Figura 30 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas - 1ª Série do Ensino Médio.....	172
Figura 31 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas - 2ª Série do Ensino Médio.....	172
Figura 32 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 3ª dimensão de análise:.....	173
Figura 33 - Níveis de Compreensão das Explicações dos alunos nas Três Dimensões de Análise.....	176
Figura 34 - Sistema contendo água e sal	185
Figura 35 – Primeiro Mapa Cognitivo da Aluna “A” - Natureza da Matéria: Ideias sobre a constituição da matéria e estrutura do átomo.....	186
Figura 36 - Modelo atômico apresentado pela aluna “A” no 4º período	188
Figura 37 – Segundo Mapa Cognitivo da Aluna “A” - Natureza da Matéria: Concepções sobre a existência de movimento e espaços vazios.....	190

Figura 38 – Terceiro Mapa Cognitivo da Aluna “A” - Natureza Elétrica da Matéria .	195
Figura 39 - Representação do íon sódio pela aluna “A”	197
Figura 40 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções da Aluna “A”, para os conceitos de interações intra e inter partículas	202
Figura 41 - Representação de um sistema de água com pouco e, com muito sal. .	211
Figura 42 – Primeiro Mapa Cognitivo do Aluno “B” - Natureza da Matéria: Crenças da constituição da matéria e estrutura do átomo.....	213
Figura 43 – Segundo Mapa Cognitivo do Aluno “B” - Natureza da Matéria: Concepções sobre a existência de movimento e espaços vazios.....	217
Figura 44 - Representação pelo aluno “B” do átomo de sódio e do íon sódio.....	222
Figura 45 – Terceiro Mapa Cognitivo do Aluno “B” - Natureza Elétrica da Matéria .	223
Figura 46 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções do Aluno “B” para os conceitos de interações intra e inter partículas	228
Figura 47 - Representação pictórica da solubilidade do cloreto de sódio em água - aluno “B”.....	236
Figura 48 – Primeiro Mapa Cognitivo do Aluno “C” - Natureza da Matéria: Crenças da constituição da matéria e estrutura do átomo.....	241
Figura 49 – Segundo Mapa Cognitivo do aluno “C” - Natureza da Matéria: Concepções sobre a existência de movimento e espaços vazios.....	244
Figura 50 – Terceiro Mapa Cognitivo do Aluno “C” - Natureza Elétrica da Matéria .	248
Figura 51 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções do aluno “C” para os conceitos de interações intra e inter partículas	254
Figura 52 - Representação, pelo aluno “C”, da dissolução do cloreto de sódio em água	255
Figura 53 - Dissolução do sal em água. Elaborado pelo aluno “D”	263
Figura 54 – Primeiro Mapa Cognitivo do Aluno “D” - Natureza da Matéria: Crenças da constituição da matéria e estrutura do átomo.....	267
Figura 55 – Segundo Mapa Cognitivo do Aluno “D” - Concepções do aluno sobre movimento e vazio entre as partículas da matéria.	269
Figura 56 - Formação do íon sódio. Desenhado pelo aluno “D”	273
Figura 57 – Terceiro Mapa Cognitivo do Aluno “D” - Natureza Elétrica da Matéria .	274
Figura 58 - Desenho representativo da dissolução do cloreto de sódio em água - aluno “D”.....	275
Figura 59 - Formação de cloreto de sódio (2). Desenhada pelo aluno “D”	276

Figura 60 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções do aluno “D” para os conceitos de interações intra e inter partículas	280
Figura 61 - Estados físicos da matéria, representação pictórica do aluno “D”	281

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Interpretação da evolução cognitiva mediante esquemas operatórios e esquemas específicos.....	39
Quadro 2 – Descrição do conhecimento dos alunos sobre fenômenos que podem ser explicados em termos corpusculares.	50
Quadro 3 – Classificação das respostas dos alunos.....	71
Quadro 4 - Instrumentos utilizados para coleta de dados e datas de realização	76
Quadro 5 - Objetivos e exigências das questões do Instrumento 1 (pré-teste).....	77
Quadro 6 - Objetivos da entrevista com a professora de química.....	79
Quadro 7 - Descrição dos objetivos das questões da entrevista (apêndice F).....	81
Quadro 8 – Correspondência das questões renumeradas com as questões originais.	83
Quadro 9 – Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias da 1ª dimensão de análise.....	84
Quadro 10 – Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias da 2ª dimensão de análise.	86
Quadro 11 – Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias da 3ª dimensão de análise.	87
Quadro 12 – Critérios para avaliar o nível de adequação das explicações – 1ª Dimensão: Natureza da Matéria.....	89
Quadro 13 – Critérios para avaliar o nível de adequação das explicações – 2ª dimensão: Natureza Elétrica da Matéria.....	91
Quadro 14 – Critérios para avaliar o nível de adequação das explicações – 3ª Dimensão: Interações Intra e Intermoleculares.	92
Quadro 15 – Níveis de compreensão das explicações dos alunos de acordo com o tipo de explicação e seu nível de adequação.....	95
Quadro 16 – Simbologia utilizada na matriz de análise para indicar o nível de adequação das explicações dos alunos.....	115
Quadro 17 - Nível de Adequação Global conforme faixa da somatória de pontuação na 1ª dimensão de análise.	116
Quadro 18 - Matriz de análise da 1ª série do Ensino Médio: 1ª dimensão de análise - Natureza da Matéria.....	117
Quadro 19 - Matriz de análise da 2ª série do Ensino Médio: 1ª dimensão de análise - Natureza da Matéria.....	119

Quadro 20 – Matriz de análise da 3ª série do Ensino Médio: 1ª dimensão de análise - Natureza da Matéria.....	121
Quadro 21 - Nível de adequação das explicações dos alunos por categoria na 1ª dimensão de análise.....	130
Quadro 22 - Nível de adequação das explicações dos alunos, tanto em nível macroscópico, quanto em nível submicroscópico da 2ª. dimensão de análise.	131
Quadro 23 - 2ª dimensão de análise: Utilização de ideias sobre a natureza elétrica da Matéria em situações do cotidiano - Alunos da 1ª série.....	132
Quadro 24 - 2ª dimensão de análise: Utilização de ideias sobre a natureza elétrica da Matéria em Situações do Cotidiano - Alunos da 2ª série.....	133
Quadro 25 - 2ª dimensão de análise - utilização de ideias sobre a natureza elétrica da matéria em situações do cotidiano - alunos da 3ª. Série.....	134
Quadro 26 - Nível de adequação das explicações dos alunos por categoria na 2ª dimensão de análise.....	140
Quadro 27 - Indicação do nível de adequação das explicações dos alunos em nível submicroscópico na 3ª dimensão de análise.....	144
Quadro 28 - Indicação do nível de adequação dos alunos das explicações em nível macroscópico na 3ª dimensão de análise.	144
Quadro 29 - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Moleculares - Alunos da 1ª. Série.....	145
Quadro 30 - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Moleculares - Alunos da 2ª. Série.....	146
Quadro 31 - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Moleculares - Alunos da 3ª. Série.....	147
Quadro 32 - Nível de adequação das explicações dos alunos por categoria na 3ª dimensão de análise	153
Quadro 33 - Critérios para avaliar o nível de compreensão das explicações dos alunos - 1ª dimensão de análise).	159
Quadro 34 - Critérios para avaliar o nível de compreensão das explicações dos alunos - 2ª dimensão de análise).	160
Quadro 35 - Critérios para avaliar o nível de compreensão das explicações dos alunos - 3ª dimensão de análise).	161
Quadro 36 - Características das explicações mais recorrentes dos alunos da 1ª série nas Dimensões de Análise.	179

Quadro 37 - Relação entre os momentos em que os conceitos foram abordados no ensino com a época da realização das entrevistas.	184
Quadro 38 - Níveis de compreensão da aluna “A” por períodos - 1ª dimensão de análise	194
Quadro 39 - Níveis de compreensão da aluna “A”, por períodos - 2ª dimensão de análise	201
Quadro 40 - Níveis de compreensão da aluna “A”, por períodos - 3ª dimensão de análise	209
Quadro 41 - Desenvolvimento conceitual da aluna “A” ao longo do estudo longitudinal considerando as dimensões de análise	209
Quadro 42 - Níveis de compreensão do aluno “B” por períodos - 1ª dimensão de análise	220
Quadro 43 - Níveis de compreensão do Aluno “B”, por períodos - 2ª dimensão de análise	227
Quadro 44 - Níveis de compreensão do Aluno “B”, por períodos- 3ª dimensão de análise	238
Quadro 45 - Desenvolvimento conceitual do aluno “B”	238
Quadro 46 - Níveis de compreensão do aluno “C” por períodos - 1ª dimensão de análise	247
Quadro 47 - Níveis de compreensão do aluno “C”, por períodos - 2ª dimensão de análise	252
Quadro 48 - Níveis de compreensão do aluno “C”, por períodos- 3ª dimensão de análise	260
Quadro 49 - Quadro 49 - Desenvolvimento conceitual do aluno “C”	260
Quadro 50 - Visão panorâmica do nível de compreensão do aluno “D”	272
Quadro 51 - Níveis de compreensão do aluno “D”, por períodos - 2ª dimensão de análise	278
Quadro 52 - Visão panorâmica do nível de compreensão do aluno “D”	286
Quadro 53 - Desenvolvimento conceitual do aluno “D”	286
Quadro 54 - Níveis Explicativos extraídos das regularidades das respostas dos quatro alunos do estudo longitudinal	289
Quadro 55 - Classificação da explicação do aluno no nível explicativo	290
Quadro 56 - Níveis explicativos alcançados pelos alunos	290

Quadro 57 - Explicação dos estudantes à questão 1 (91 alunos): Crença de a matéria ser constituída por átomos.	311
Quadro 58 - Explicação dos estudantes à questão 2 (91 alunos): Reconhecimento do núcleo, eletrosfera e elétron.	311
Quadro 59 - Explicação dos estudantes à questão 3 (91 alunos): Ideias sobre a existência de espaços vazios entre as partículas de uma substância.....	312
Quadro 60 - Explicação dos estudantes para a questão 4 (91 alunos): Ideias sobre a existência de movimento entre as partículas constituintes das substâncias.	312
Quadro 61 - Escolha pelos estudantes (91 alunos) de uma situação que justifique a frase: "Um átomo pode perder elétrons".	313
Quadro 62 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica a condução de corrente elétrica, considerando os sistemas: água e sal e água com açúcar.....	313
Quadro 63 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Ideias sobre o que acontece com os átomos de prata quando uma correntinha de prata escurece.....	314
Quadro 64 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica o que ocorre com as partículas dos reagentes em uma transformação química.	314
Quadro 65 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica o aumento de volume da água quando ocorre a solidificação.....	315
Quadro 66 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica a maior volatilidade do álcool em relação à da água, quando ambos são colocados na palma da mão.	316
Quadro 67 - Instrumento para categorizar as explicações dos alunos em níveis de compreensão - 1ª dimensão de análise	318
Quadro 68 - Instrumento para categorizar as explicações dos alunos em níveis de compreensão- 2ª dimensão de análise	320
Quadro 69 - Instrumento para categorizar as explicações dos alunos em níveis de compreensão- 3ª dimensão de análise	322
Quadro 70 - Instrumento para verificar as ideias mais recorrentes dos alunos nas dimensões de análise.....	325

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de Compreensão da Aluna “A” - 1ª Dimensão de Análise.....	193
Tabela 2 - Níveis de Compreensão da Aluna “A” - 2ª Dimensão de Análise.....	200
Tabela 3 - Níveis de Compreensão da Aluna “A” - 3ª Dimensão de Análise.....	208
Tabela 4 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “B” - 1ª Dimensão de Análise.....	219
Tabela 5 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “B” - 2ª Dimensão de Análise.....	226
Tabela 6 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “B” - 3ª Dimensão de Análise.....	237
Tabela 7 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “C” - 1ª Dimensão de Análise.....	246
Tabela 8 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “C” - 2ª Dimensão de Análise.....	251
Tabela 9 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “C” - 3ª Dimensão de Análise.....	259
Tabela 10 - Nível de Compreensão do Aluno “D” - 1ª Dimensão de Análise	271
Tabela 11 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “D” - 2ª Dimensão de Análise.....	277
Tabela 12 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “D” - 3ª Dimensão de Análise.....	285

Sumário

1 Introdução	29
2. Embasamento Teórico	33
3 Revisão Bibliográfica	47
3.1 Estudos focalizando as concepções dos Alunos acerca de conceitos em nível submicroscópico relacionados à natureza corpuscular da matéria	47
4 Metodologia da Pesquisa	75
4.1 Público Alvo	75
4.2 Coleta de Dados	76
4.2.1 Caracterização dos Períodos de Coleta de Dados	76
4.3 Métodos da Análise dos Dados	82
4.3.1 Elaboraões das Matrizes de Análises Considerando os Níveis de Adequação das Explicações	94
4.3.2 Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos	94
4.3.3 Explicações mais Recorrentes dos Alunos em Cada uma das Séries do Ensino Médio	97
4.3.4 Estudo Longitudinal de um Grupo de Alunos	99
5 Análise dos Dados	101
5.1 Caracterização da Professora e de seu Ensino	101
5.2 Visão Panorâmica do Nível de Adequação Global das Explicações dos Alunos das Três Séries (1ª, 2ª e 3ª) para as Questões do pré-teste, nas Três Dimensões de Análise	115
5.2.1 1ª Dimensão de análise - Natureza da Matéria	116
5.2.2 2ª dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria.	131
5.2.3 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas	143
5.3 Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos	158
5.4 Modelos Explicativos Apresentando as Explicações mais Recorrentes dos Alunos	178
5.5 Estudo Longitudinal de Quatro Alunos	181
6 Conclusões e Considerações	295
REFERÊNCIAS	303
APÊNDICE A - AUTORIZAÇÃO	308

APÊDICE B - INSTRUMENTO 1 (PRÉ-TESTE)	309
APÊNDICE C - Explicações dos Alunos ao Pré-teste (dados brutos)	311
APÊNDICE D - CATEGORIZAÇÃO DAS EXPLICAÇÕES DOS ALUNOS NOS NÍVEIS DE COMPREENSÃO	317
APÊNDICE E - INSTRUMENTO DE VERIFICAÇÃO DAS IDEIAS MAIS RECORRENTES DOS ALUNOS NAS DIMENSÕES DE ANÁLISE.....	324
APÊNDICE F - ENTREVISTAS REALIZADAS DURANTE O ESTUDO LONGITUDINAL - DO 2º AO 4º PERÍODOS.....	333

1 Introdução

As pesquisas em Ensino de Ciências evidenciam que determinadas metodologias e estratégias adotadas para o ensino de conceitos científicos têm resultado em uma aprendizagem mecânica, não levando em conta o estabelecimento de relações entre os conceitos, e os alunos, por sua vez, não atribuem significado ao que está sendo ensinado, de maneira que parte do conhecimento ensinado é esquecido ao final de poucos anos.

No entanto, pensar a educação em ciências no que se refere à aprendizagem dos conceitos científicos, implica na compreensão dos conceitos pelos alunos, para que sejam capazes de fazer previsões sobre os aspectos científicos presentes nos fenômenos que se deparam na sua vida. Não se trata de um acúmulo, por parte dos alunos, de conhecimentos fragmentados e desvinculados de contextos. Os conceitos não devem permanecer isolados na mente dos alunos, mas sim, conectados e interligados de maneira que possam raciocinar cientificamente quando uma explicação é exigida, principalmente na interpretação dos fenômenos que os cercam e na resolução de problemas.

Hoje, a necessidade é de formar alunos críticos, autônomos e capazes de estabelecer relações entre os conhecimentos, sejam advindos da escola ou de suas vidas cotidianas. Ideias essas, defendidas em documentos legais (BRASIL, 2002).

Na aprendizagem de conceitos, o uso de modelos explicativos coerentes com a Ciência pode dar autonomia ao aluno na explicação de fenômenos para que supere concepções de senso comum ou superficiais, auxiliando-o a ter um posicionamento crítico diante das situações.

Na minha atuação como professora de química, sempre me preocupei em entender como as concepções dos alunos se estabelecem, conforme eles estudam sobre os conceitos científicos. Sei que eles têm ideias sobre os fenômenos que ocorrem à sua volta, porém ao explicá-los, nem sempre se utilizam das teorias da ciência da maneira como lhes foi ensinado.

Como ocorrem a aprendizagem dos conceitos, como estes evoluem e quais as dificuldades que os alunos se deparam conforme vão interagindo com os novos

conhecimentos que ensinamos, foram questões que sempre me intrigaram e que me motivaram a investir nesta pesquisa.

Percebo que, no ensino de química, os conceitos sobre a estrutura da matéria são estruturantes para a compreensão do comportamento e das propriedades da matéria, e que os alunos apresentam muita dificuldade para compreendê-los e os utilizarem nas explicações de fenômenos. Dessa forma, a questão que guiou esta pesquisa é: *Como os alunos elaboram seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria e os utilizam, no decorrer do processo de aprendizagem durante o Ensino Médio, para explicar fenômenos do seu dia a dia?*

Para essa finalidade, um estudo longitudinal foi realizado, para seguir o entendimento dos alunos sobre a estrutura da matéria durante um período de três anos, o que possibilitou caracterizar seu desenvolvimento conceitual nessa área, que foi o objetivo geral dessa pesquisa.

Os conceitos escolhidos para esse fim dizem respeito à natureza da matéria (estrutura atômica da matéria, reconhecimento de suas partes e partículas, ideia de movimento e espaços vazios), natureza elétrica da matéria (ideias sobre a perda de elétrons pelo átomo com formação de íons e movimentação de elétrons), interações intra e interpartículas.

Segundo Pozo e Crespo (2009, p. 145), uma parte importante dos conteúdos de química, principalmente no Ensino Médio, é dedicada a explicar a natureza, as propriedades da matéria e as mudanças que ela pode sofrer. Para estes autores:

Os estudantes devem reconhecer que a matéria tem uma natureza descontínua, compreendendo que, para além da sua aparência visível ou dos diversos estados que pode apresentar sempre é formada por átomos. Que são pequenas partículas que estão em contínuo movimento e interação, que podem se combinar para dar lugar a estruturas mais complexas e entre as quais não existe absolutamente nada, o que implica a complexa e abstrata ideia de vazio.

Considerou-se que os conceitos elencados, além de fundamentais na química, fornecem embasamento para a compreensão de outros conceitos, tais como, transformações químicas, dissoluções, teoria cinético molecular, entre outros. Além disso, o estudo desses conceitos, explorados nesta pesquisa, poderão auxiliar para que se sejam atingidos os seguintes objetivos específicos: verificar como evoluem as concepções dos alunos ao longo do Ensino Médio, considerando suas estruturas cognitivas; e conhecer as possíveis barreiras e dificuldades existentes para esta evolução conceitual.

Assim, partindo-se de uma abordagem construtivista no ensino de ciências, consideramos que o conhecimento científico que os alunos constroem depende, entre

outros fatores, das ideias prévias que eles apresentam e da ligação destas com o que se pretende ensinar. Embora consideradas vagas, pouco definidas, estáveis, resistentes às alterações, estas ideias satisfazem muitas vezes os pontos de vista do indivíduo e podem se tornar inibidoras da construção de conceitos (POZO et al., 1991).

No entanto, são representações que cada indivíduo possui, advindas tanto do funcionamento do seu sistema cognitivo, quanto das interações com o mundo que o cerca e da forma que o observa, e devem ser consideradas, pois são conhecimentos.

No ensino, os professores podem perceber como os alunos entendem os fenômenos por meio dessas concepções e propor estratégias didáticas para que os alunos superem as dificuldades, o que exigirá uma reestruturação em suas concepções. Segundo Pozo e Crespo (2009), os alunos organizam suas ideias em torno daquilo que podem ver, centrado nos aspectos perceptíveis. Interpretar os fenômenos com base nos modelos da ciência implica vencer a barreira das explicações de senso comum e as de nível macroscópico para as de nível interpretativo com maior grau de reflexão e abstração.

Segundo Benarroch (2000; 2001) e Marín (2014) o indivíduo organiza suas experiências por meio de seu aparato cognitivo. Para os autores, no sistema cognitivo não observável do sujeito existem construtos (esquemas específicos e esquemas operatórios) que podem ser continuamente enriquecidos em um processo de aprendizagem. A medida que o aluno progride em suas explicações para interpretar um fenômeno, supõe-se um ganho em seu sistema cognitivo, o que pode estar ligado ao grau de reflexão alcançado pelos alunos permitindo a elaboração de concepções mais consistentes e conseqüentemente enriquecimento de seus construtos a níveis mais elevados.

Com base nestes pressupostos, partiu-se da seguinte hipótese: *Os estudantes aceitam que a matéria é constituída por átomos. Porém, explicar as propriedades e o comportamento da matéria, interpretando os fenômenos, com os quais se deparam no contexto escolar e no seu dia a dia, utilizando explicações em um nível atômico molecular, não é por eles atingido com um grau de complexidade satisfatório, mesmo após terem enfrentado o Ensino Médio.*

Assim, esta pesquisa apresenta no capítulo 1 a fundamentação teórica, que aborda alguns pressupostos que apoiam o entendimento de como os alunos constroem os conceitos científicos, levando em consideração sua estrutura cognitiva.

Embora estes pressupostos apresentem uma base piagetiana e neopiagetiana, outros autores e vertentes também contribuíram para esta fundamentação.

No capítulo 2, se apresenta uma revisão bibliográfica focando-se alguns estudos de autores que também buscaram entender as concepções dos alunos sobre conceitos relacionados à estrutura da matéria e outros estudos longitudinais com esse enfoque.

No capítulo 3, encontra-se a metodologia desta pesquisa, com a descrição dos instrumentos de coleta de dados e de análises.

No capítulo 4, está descrita a análise da caracterização do ensino e do desenvolvimento conceitual dos alunos de 1ª a 3ª série, considerando níveis de adequação e de compreensão dos modelos explicativos apresentados pelos alunos, bem como suas explicações mais recorrentes. Também, é apresentada a análise da evolução conceitual de quatro alunos, considerando seus modelos explicativos durante o estudo longitudinal.

No capítulo 5, são apresentadas as considerações finais sobre o desenvolvimento conceitual dos alunos a respeito dos conceitos relacionados à estrutura da matéria e a conclusão deste estudo.

Ao final, encontram-se as referências bibliográficas e os apêndices.

2. Embasamento Teórico

A discussão teórica aqui apresentada enfatiza a maneira como ocorre a construção do conhecimento pelo aluno, considerando alguns estudos que tentam interpretar o processo, com base no conteúdo das estruturas cognitivas¹.

As ideias que os alunos trazem para a sala de aula, muitas vezes, não são exploradas de forma a desenvolver a compreensão conceitual. Entende-se que isso é importante, uma vez que, se o professor compreender ou perceber as dificuldades que os alunos apresentam na construção de determinados conceitos, ele poderá planejar e desenvolver estratégias didáticas mais eficazes.

No sentido mais geral, a visão contemporânea da aprendizagem é a de que os alunos elaboram seus entendimentos com base naquilo que sabem (MOREIRA; MASINI, 1982) e o professor, a partir do reconhecimento dessas ideias, auxilia-os a alcançar uma melhor compreensão dos conceitos. Se as ideias dos alunos são ignoradas ou pouca atenção a elas forem dadas, a compreensão que os alunos desenvolvem pode ser muito diferente do que se pretende ensinar.

Assim, a orientação construtivista resume as características essenciais desta visão da aprendizagem em três princípios, como destaca Gil-Perez (1993):

Quem aprende constrói significados. Não reproduz o que lê ou o que se ensina.
Compreender algo supõe estabelecer relação (...). Os fragmentos de informações isolados são esquecidos ou resultam inacessíveis à memória.
Toda aprendizagem depende de conhecimentos prévios.

No entanto, auxiliar o aluno a construir significados não é uma tarefa fácil, principalmente porque as concepções que eles trazem para a sala de aula, podem ser estáveis, tenazes e resistentes, se mostrando úteis e coerentes, satisfazendo seus pontos de vista (POZO et al., 1991). Muitas vezes, essas concepções são construídas a partir das experiências do aluno, com objetos, situações, informações da mídia, convívio de pessoas etc., e podem se tornar inibidoras ou dificultar a construção de novos conceitos. Essas concepções são apresentadas pela literatura com inúmeras denominações, tais como: pré-conceitos, conceitos de senso comum, ideias intuitivas,

¹ Estrutura cognitiva, será entendida aqui como esquemas de conhecimento, capazes de fornecer estabilidade, assimilar, interpretar e dar sentido às informações externas, criar ordem a partir da diversidade de informações, fazer inferências, armazenar e recuperar os dados a partir da memória, fazer previsões, e assim por diante (MARIN, 2014).

conceitos espontâneos, concepções alternativas, pré-concepções, ideias “errôneas”, apresentando, algumas delas, significados um pouco diferentes.

No ensino de Ciências, muitos trabalhos têm sido feitos acerca das concepções alternativas dos alunos com a finalidade de conhecê-las para serem propostas estratégias didáticas que auxiliem os alunos a superá-las.

Segundo Pozo et al. (1991), as possíveis causas do surgimento de concepções alternativas podem estar ligadas a: pensamento dominado pela percepção; interesse pelo aparente; raciocínio causal linear; predomínio de conceitos indiferenciados e pensamento dependente do contexto no qual foi ativado.

Embora, nesta pesquisa, defenda-se que as concepções alternativas dos alunos não são eliminadas ou extinguidas, mas que podem coexistir com outras concepções presentes na estrutura cognitiva, não se pode deixar de destacar o pioneirismo do modelo de mudança conceitual de Posner, ao tentar estabelecer de que forma essas concepções poderiam ser modificadas, para dar lugar a concepções que fossem coerentes com os conhecimentos científicos.

Dessa forma, Posner et al. (1982) sugerem a necessidade de uma situação de conflito para que ocorra a “mudança conceitual”, de tal forma que o aluno fique insatisfeito frente à nova situação, uma vez que suas concepções iniciais não atendem à resolução de novos problemas. Os autores estabelecem quatro condições cognitivas para a ocorrência da “mudança conceitual”: ocorrer insatisfação com as concepções existentes – o sujeito deve perceber que seus conceitos não são suficientes para resolver o problema –; a nova concepção deverá ser inteligível – minimamente compreendida –; deve ser plausível – o novo conceito deve ser capaz de resolver os problemas, anteriormente gerados, e também se adaptar a outros conhecimentos –; e deve ser profícuo – o conceito deve ser potencialmente ampliado para explorar novas áreas de pesquisa e tecnologia.

Muitas críticas surgiram em relação ao modelo proposto pelos autores, considerando que este modelo não pode ser entendido como um conjunto de conquistas revolucionárias definitivas. Quando a ideia é conquistar uma evolução conceitual e não uma mudança conceitual outros fatores são levados em consideração, tais como: motivação, origens institucional e social dos alunos, a ecologia conceitual², aspectos ligados a fatores cognitivos e afetivos (LINDER, 1993;

² Ecologia conceitual: conceitos determinantes que estão ligados a inúmeros conceitos para se propor uma explicação.

MOREIRA; GRECA, 2003; PINTRICH; MARX; BOYLE, 1993; SCHENETZLER, 1992; STRIKE; POSNER, 1992).

Schenetzler (1992, pág. 20) afirma que:

Desta forma, não se trata de destruir as concepções prévias dos alunos, mas sim de se desenvolver um processo de ensino que promova a evolução de suas ideias. Em outros termos, a ruptura não significa necessariamente descarte. Assim, o ensino não pode ser concebido como um processo simplesmente linear, onde novos conceitos vão sendo sequencialmente introduzidos; mas sim como um processo em que o professor deve também planejar e desenvolver situações frequentes onde conceitos já abordados sejam retomados e retrabalhados sob novas formas, estabelecendo novos relacionamentos conceituais para propiciar ao aluno condições de aplicação, ampliação e consolidação daquelas ideias, ou seja, das ideias cientificamente aceitas.

Concordando com as ideias de Schenetzler (1992) e considerando que a construção de conceito está relacionada à maneira como o indivíduo organiza suas experiências por meio de seu aparato cognitivo para interpretar o desenvolvimento conceitual dos alunos, optou-se como marco teórico o Modelo Cognitivista de Marín (2011; 2014) e as contribuições de Benarroch (2000; 2001).

Marín (2014) faz uma diferenciação entre esquema e conceitos, pois em muitas investigações essas duas construções têm sido utilizadas de forma indiferenciada.

A noção de esquemas tem precedentes nas obras de Piaget e estes são definidos como estruturas complexas de dados que representam os conceitos armazenados e organizados na memória, cuja organização interna segue princípios de tipicidade em torno de protótipos, permitindo que se ajustem a uma grande variedade de situações. Além, disso existe uma organização hierárquica entre os esquemas, sendo que os de alto nível servem para gerar outros esquemas e assim sucessivamente.

Do ponto de vista de Rodrigo e Correa (2004), os esquemas são construídos graças a um mecanismo de abstração capaz de captar regularidades nas situações, comportamentos e ideias das pessoas. Este processo de abstração se inicia desde muito cedo e vai gerando esquemas. Por meio da coordenação desses esquemas o sujeito começa a dar sentido às suas experiências, realizando inferências, previsões, integrando informações etc. Muitos nomes diferentes são atribuídos à unidade cognitiva que organiza o conhecimento, tais como: ação ou esquema operativo, teoria implícita, teoria pessoal, esquema cognitivo.

Para Marín (2014) o esquema é tido como o conteúdo do aparato cognitivo do sujeito, refere-se a construtos que formam parte do sistema cognitivo não observável do sujeito, enquanto que as concepções se referem a toda informação significativa que o aluno fornece apresentando certo grau de regularidade e que são

manifestações observáveis da cognição dos estudantes. Para esse autor, o conceito que o aluno explicita sobre uma determinada situação ou objeto é uma ideia abstrata, extraída de certas características do objeto. Neste sentido, o conceito pode ser visto como um produto do pensamento lógico, o qual expressa o conjunto de características comuns e próprias de um objeto ou situação.

Nesse modelo, Marín (2014) adota uma posição intermediária sobre a origem da construção do conhecimento pelo indivíduo, distanciando-se, porém, de posições extremas. Segundo o autor, o conhecimento é construído por meio da interação entre o sujeito e o ambiente, de modo que a experiência pessoal (ênfatisada pelo empirismo) é tão importante como a atividade racional do sujeito (ênfatisada pelo racionalismo).

Marín postula que o conhecimento surge ou é uma consequência da capacidade de autorregulação de todas as coisas vivas. Isto significa que quando o sujeito é confrontado com desequilíbrios, distúrbios ou conflitos, o sistema cognitivo tem a capacidade para se compensar e voltar a um novo equilíbrio. Na interação entre o sujeito e o ambiente, modificam-se as estruturas cognitivas e, como resultado, sua forma de percebê-lo (realidade construída).

Para a melhor compreensão desse Modelo cognitivo, Benarroch (2001) argumenta que a interpretação das respostas que um aluno fornece para determinados fenômenos ou situações podem ser analisadas a partir de dois planos, considerando sua cognição: o plano observável e o não observável de sua cognição (figura 1). No plano observável se situam os esquemas explicativos e as respostas dos alunos (verbais, escritas, desenhos e ações) frente a uma dada situação. Assim, o aluno ao processar os dados percebidos oferece uma resposta, o agente que causa este processamento são seus esquemas cognitivos, entendidos no modelo cognitivista de Marín, como esquemas operacionais gerais e os esquemas específicos, ambos situados no plano não observável da cognição do aluno.

Os esquemas operatórios ou operacionais gerais são as construções cognitivas produzidas inicialmente a partir do primeiro nível (esquemas específicos) por processos de reflexão interna. Segundo Benarroch (2001), esses esquemas operacionais provocam as transformações dos dados percebidos e são responsáveis por um nível de abstração mais elevado, pelas inter-relações conceituais realizadas pelos alunos e, deste modo, responsáveis por efeitos de transferência originados pelo desenvolvimento cognitivo do estudante.

Figura 1 – Relação dos construtos definidos no modelo cognitivo de Marín.

No entanto, a estrutura cognitiva formada por esses esquemas pode ter uma competência desenvolvida, mas que nem sempre será refletida de forma imediata. Entretanto, os alunos podem manifestar esta estrutura quando lhes forem dadas oportunidades para expressar seu conhecimento em toda sua extensão. Assim, por exemplo, a ideia de que entre as partículas das substâncias que compõem um gás exista “ar” dificulta a construção da ideia sobre existência de espaços vazios, constituindo de certa forma uma barreira cognitiva, mesmo que na estrutura cognitiva do aluno possa existir noções sobre a existência de espaços vazios.

Ainda, no plano não observável da cognição, os esquemas específicos resultam da interação do sujeito com seu ambiente físico e surgem de abstrações simples ou empíricas das propriedades dos objetos, resultando na capacidade do sujeito fornecer uma conceitualização descritiva dos mesmos. Segundo as hipóteses de Benarroch e Marín (1998), o sujeito em função do enriquecimento do seu nível de esquemas operatórios vai evoluindo em sua capacidade de transformar seus esquemas específicos. Dessa forma, as respostas dos alunos seriam manifestações resultantes de um processo de reflexão em que são ativadas, em diferentes graus, as estruturas cognitivas internas. Determinados níveis de esquemas explicativos somente são alcançados a partir de um determinado esquema operatório.

A hipótese proposta por Benarroch e Marín (1998) é a de que, diante da realidade, o sujeito, graças às suas abstrações empíricas (fase intrafactual associada às interações do sujeito e o ambiente), adquire os primeiros esquemas específicos e, a partir de abstrações reflexivas, provoca uma relação “interfactual” (relações formais mais ou menos estáveis de coordenação e transformações) entre os esquemas

específicos e entre outros esquemas provenientes do substrato operatório. Deste modo, se amplia a extensão do domínio do conhecimento que, após uma ou várias fases interfactuais, resulta em uma fase transfactual, na qual a abstração de forma refletida origina uma explicação causal necessária com respostas mais elaboradas.

Assim, os esquemas explicativos são reconstruções que o investigador faz procurando verificar o caminho que o aluno percorre ao manifestar explicações a uma diversidade de situações problemáticas para um mesmo conteúdo, embora com certo nível de incerteza, pois é difícil detectar o que está por trás de todo pensamento do aluno (OLIVA-MARTINEZ, 1999).

Um esquema explicativo atingirá maturidade se apresentar as seguintes propriedades: repetição – uso do esquema ao se introduzir variações quantitativas –; generalização – utilização do esquema para explicar situações diferentes, porém equivalentes cientificamente –; e de diferenciação – adaptação do esquema ante novas situações por reconhecer semelhanças e diferenças das variáveis em questão quando comparadas às variáveis utilizadas na geração do esquema.

Em sua pesquisa para interpretar a evolução conceitual dos estudantes sobre a natureza corpuscular da matéria, Benarroch (2000) estabeleceu cinco níveis de esquemas explicativos elaborados mediante um processo de aproximações sucessivas da regularidade das respostas dos alunos considerando as propriedades de repetição, generalização e diferenciação. Isto permitiu verificar as concepções dos alunos desde as noções de continuidade (nível I), às de descontinuidade, com explicações em nível submicroscópico baseadas na inexistência do vazio (nível III), até as relacionadas à descontinuidade baseadas em explicações acadêmicas, considerando a ideia de espaços vazios, movimento e interações (nível V), o que possibilitou interpretar as dificuldades que separam os distintos níveis.

A autora destacou que a evolução cognitiva implica em um avanço gradual e fértil dos esquemas cognitivos e concluiu que para um determinado nível de esquemas operatórios, os esquemas específicos experimentam enriquecimentos progressivos devido a novas incorporações conceituais.

No quadro 1 (BENARROCH, 2001, p. 130, tradução nossa), apresenta-se um modelo de evolução cognitiva proposto pela autora em função dos elementos não observáveis, considerando a natureza corpuscular da matéria, que expressa um primeiro enriquecimento progressivo nos esquemas específicos em escala macroscópica, que são gradualmente coordenados e diferenciados dando lugar a

novos esquemas (I→II). Na escala submicroscópica, as concepções não se desligam das percepções, primeiro macroscópicas (III) e mais tarde, pequenos indícios induzidos por um sistema em transformação (III→IV), e assim seguem incorporando novos esquemas, tais como, a diferenciação entre matéria e não matéria até chegar a ideia de espaços vazios (IV→V).

Quadro 1 – Interpretação da evolução cognitiva mediante esquemas operatórios e esquemas específicos.

Esquemas operatórios	Adição de partes e enriquecimento sobre objetos macroscópicos		Adição de partes enriquecimento sobre objetos submicroscópicos		
Esquemas específicos	Os gases não existem. O ar é o vento. A água é contínua.	Os gases preenchem todo o espaço. Os sólidos podem ser formados por grãos.	A matéria, sólida, líquida e gasosa está formada por partículas e “buracos”.	O vazio não é matéria	Esquemas acadêmicos
Níveis de esquemas explicativos	I	II	III	IV	V
	Partículas Reais		Partículas Hipotéticas		

Dessa forma, em seu estudo, os alunos que manifestaram inicialmente explicações com base em uma visão contínua da matéria, tiveram mais dificuldade de evoluir em suas concepções do que os alunos que apresentaram inicialmente noções de partículas e espaços vazios.

Conforme argumentam Marín e Benarroch (2006), o aluno, ao avançar de um nível explicativo a outro, deve atingir níveis explicativos de maior complexidade em relação ao nível anterior, uma vez que a informação, além de aumentar, se reorganiza de maneira distinta. Embora exista certa dificuldade na transposição de um nível a outro, este passo implica a superação de determinados obstáculos epistemológicos que dificultam uma compreensão progressiva e mais complexa do mundo. Segundo os autores, o conhecimento de sucessivos níveis explicativos possibilita: utilizá-lo como um guia na elaboração do currículo escolar, organizando e sequenciando os conteúdos; programar a aula de um determinado conteúdo segundo diferentes etapas para alcançar a construção do conceito almejado; detectar as principais dificuldades e obstáculos que impedem a transição de um nível a outro; adotar estratégias que permitam aos alunos avançar nessa projeção.

Logo, a utilização dos níveis explicativos deve servir como um marco orientador e não como uma proposta fechada, na qual os alunos devem seguir o trajeto marcado pelos sucessivos níveis. Deve, sim, ser visto como uma proposta reformulável, aberta e flexível, que nos permita tanto interpretar como intervir na realidade educativa.

Considerando a ideia da existência de esquemas na estrutura cognitiva dos indivíduos, apresentam-se algumas considerações sobre a proposta de Gérard Vergnaud (1990), que além de contribuir com as ideias de Benarroch e Marín, também nos auxiliam a olhar como os conceitos podem ser construídos pelos alunos.

Essa é também uma teoria cognitivista neopiagetiana, pois Vergnaud ampliou e redirecionou as ideias de Piaget sobre as operações lógicas gerais e estruturas gerais do pensamento para interpretar o funcionamento cognitivo na interação “sujeito-em-situação”, ou seja, o conhecimento se dá quando o sujeito está em ação.

Para o autor, é através de situações e de problemas que se pretende resolver, que o conceito adquire sentido para o aluno, a esse conjunto de situações denominou-se campo conceitual³. Por exemplo, em química, o campo conceitual sobre soluções requer uma série de situações que exigem o uso de vários conceitos (substância, homogeneidade, solubilidade, densidade etc.), representações e procedimentos para sua compreensão. São três as justificativas para que se utilize o conceito de campo conceitual na análise da construção do conhecimento: uma delas considera que um conceito não se forma a partir de um só tipo de situação, sendo preciso diversas atividades de ensino para que o sujeito aplique um dado conceito em várias situações, testando assim seus modelos explicativos em contextos diferentes, enriquecendo-os ou reformulando-os; outra se pauta em uma situação que não se analisa com um só conceito, sendo necessária uma visão integradora do conhecimento; e a última é a de que é preciso um longo tempo para a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação.

O autor faz referência a duas classes de situações: classes de situações em que o sujeito dispõe em seu repertório de competências para tratar a situação e classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que exige maior tempo de reflexão, exploração de dúvidas, tentativas bem-sucedidas ou frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou fracasso.

Para tratar as situações a que são confrontados, os sujeitos acionam seus “esquemas” que, segundo Vergnaud, são a organização invariante da conduta para uma classe de situações, ou seja, os elementos cognitivos que permitem a ação do sujeito ser operatória. Os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais ele é confrontado.

³ Definido por Vergnaud (MOREIRA, 2002) como um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes, mas intimamente relacionados.

No entanto, o conceito de esquema não funciona do mesmo modo nas duas classes de situações descritas acima. Na primeira delas, observam-se, para uma mesma classe de situações, ações automatizadas, organizadas por um só esquema, enquanto na segunda, observa-se a sucessiva utilização de vários esquemas que podem entrar em competição e que, para atingir a meta desejada, devem ser acomodados, descombinados e recombinados.

Segundo Moreira (2002), o núcleo do desenvolvimento cognitivo na teoria de Vergnaud é a conceitualização. Portanto, é preciso dar toda atenção aos aspectos conceituais dos esquemas e à análise conceitual das situações nas quais os aprendizes desenvolvem seus esquemas na escola ou na vida real.

Assim, a definição de conceito, extraída de Vergnaud, se baseia na tríade, S, I, R onde: S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito (a realidade); I é um conjunto de invariantes operatórios (objetos, propriedades e relações), conhecimentos contidos nos esquemas, que dão operacionalidade ao conceito; e R é o significante, conjunto de representações simbólicas (linguagem, gráficos e diagramas) para representar os invariantes. Para estudar, o desenvolvimento e o uso de um conceito, ao longo da aprendizagem por um aluno, se deve considerar esses três conjuntos simultaneamente.

Em função da situação (combinação de tarefas), o sujeito desenvolve seus processos cognitivos e fornece uma resposta, pois aciona seus esquemas e, segundo Pais (2011), esse procedimento quando aplicado de forma dinâmica e com certa continuidade provoca um estado de “apreensão”, o que caracteriza a disponibilidade do sujeito colocar em ação novos procedimentos de raciocínio, e não simplesmente repetir modelos, fórmulas, algoritmos e ações automatizadas.

As representações (R) simbólicas são utilizadas para indicar e representar os invariantes (símbolos, ações, gestos, desenhos etc.).

Os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) são constituídos de um vasto repertório de esquemas disponíveis e que se apresentam, de acordo com Vergnaud, como componentes de diferentes tipos, tais como: *proposições* (metas e antecipações) – dado que o esquema está orientado sempre a resolver uma determinada classe de situações; *regras de ação do tipo “se...então”* – busca por informação e controle dos resultados da ação; *possibilidades de inferência* (ou raciocínios) – que permitem “calcular” “aqui e agora” as regras e antecipações a partir das informações; e os *invariantes operatórios* (teoremas-em-ação e conceitos-

em-ação) – que guiam a construção e o reconhecimento, por parte do indivíduo, dos elementos pertinentes à situação, são os conhecimentos contidos nos esquemas e considerados os principais ingredientes do esquema.

Segundo Moreira (2002), de acordo com a teoria de Vergnaud, o teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real e o conceito-em-ação é uma categoria de pensamento entendida como pertinente. Tais conhecimentos são implícitos, mas podem se tornar explícitos com a mediação do ensino e, dessa forma, tornarem-se verdadeiros teoremas e conceitos científicos se for dado aos alunos a oportunidade de colocarem à prova seus invariantes operatórios, para que possam ser debatidos e compartilhados. Uma das maneiras de verificar tais conhecimentos é por meio do acompanhamento dos diversos momentos em que os estudantes são chamados a dar respostas a problemas e situações.

Assim, considerando a teoria dos campos conceituais, muitas das concepções dos alunos são advindas das primeiras situações que eles são expostos e podem conter teoremas e conceitos-em-ação que não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos, mas que podem evoluir para eles. Portanto, a evolução dos conceitos, para Vergnaud, é um estado de vir, com avanços e retrocessos, continuidades e rupturas, no sentido que estaremos sempre nos aproximando da sua objetividade, universalidade, sem, contudo, considerá-lo como uma entidade acabada. Por isso, a teoria dos campos conceituais é uma teoria progressista, na qual o conhecimento implícito vai evoluindo, progressivamente, para o explícito, o que pode levar muito tempo, muitos anos talvez.

A seguir apresentam-se, algumas contribuições de outros autores que, embora não utilizem a ideia de esquemas como as de Benarroch, Marín e Vergnaud, não deixam de ser importantes, pois estão comprometidas em tentar interpretar como os alunos constroem seus conhecimentos, considerando as interações entre o que se ensina ao aluno e as ideias que eles já apresentam, sendo, portanto, foco de interesse para esta pesquisa. Assim, algumas discussões são apresentadas a seguir.

A formação da estrutura cognitiva depende do modo como o indivíduo percebe os aspectos do mundo pessoal, físico e social. Por meio da aprendizagem, produzem-se reestruturações na estrutura cognitiva ou compreensão interna das situações e seus significados. Isto pressupõe a origem de novos conceitos interiorizados, bem como a formação de novas estruturas mentais, novas atitudes com as quais os alunos poderão analisar e solucionar problemas. Existe, portanto, um processo de reflexão,

já que se trata da incorporação consciente e responsável de fatos, conceitos, situações e experiências.

No entanto, se o indivíduo não estiver propenso a associar novos conhecimentos ou, se ocorrer pouca interação com a estrutura de conceitos já existentes, poderá haver, simplesmente, a memorização mecânica ou repetitiva dos dados, fatos ou conceitos, pois a nova informação permanecerá isolada do restante do corpo de seus conhecimentos. Neste caso, a nova informação é armazenada de forma arbitrária, não ocorrendo interação com aquelas já presentes (MOREIRA; MASINI, 1982; ONTORIA et al., 1994).

Segundo Luffiego-Garcia (2001), o sistema cognitivo pode atravessar fases estáveis, quando a nova informação é integrada ao conhecimento já estabelecido, e fases instáveis, quando isso não ocorrer. O que justifica, segundo o autor, a estabilidade dos conhecimentos prévios, uma vez que são utilizados muitas vezes na vida cotidiana e permanecem juntos aos conceitos recentemente adquiridos.

Para esse mesmo autor, se entre os conhecimentos prévios e os aprendidos na escola não houver interação, se produz uma compartimentação dos mesmos, não havendo relações entre eles, nem no âmbito teórico nem no campo de aplicação. No entanto, se ocorrer a interação entre o conhecimento novo e o prévio, poderá haver uma integração entre eles, havendo evolução dos esquemas mentais e aumentando seu campo de aplicação – esse processo foi denominado de *reestruturação frágil*. Quando os conhecimentos prévios e novos são incompatíveis entre si, há coexistência entre eles e não há relações no âmbito teórico, mas se produz uma competição em termos da aplicação. Assim, pode ocorrer que o estudante saiba aplicar suas concepções corretamente, tanto no contexto escolar quanto no cotidiano e, à medida que o conceito científico vai se ampliando nos cursos subsequentes, ele vai se consolidando, ampliando suas relações e seu campo de aplicação e o conceito prévio pode perder sua estabilidade, ficando pouco ativado. Esse mecanismo foi chamado por Luffiego de *reestruturação forte*. Também pode ocorrer que o conhecimento prévio permaneça mantendo sua função cognitiva.

Uma outra possibilidade entendida por Luffiego é a do prolongamento do período de coexistência entre conhecimentos científico e prévio. Isso pode ocorrer se o conhecimento científico não ficar bem fortalecido ou não competir positivamente com o conhecimento prévio, permanecendo pouco ativado. Assim, o conhecimento prévio fica fortalecido e isso explica o relativo fracasso no ensino de alguns conceitos.

Para o autor, é necessário um grande período de ativação de um conhecimento em função da lenta utilização do outro. No caso de diversos conceitos estudados numa disciplina, pode haver uma riqueza de interações que promova constante processo de integração (ativação dos conhecimentos científicos) e que implica na geração de reestruturações mais complexas e abstratas. Podemos citar, como exemplo, a ideia dos alunos de que entre as partículas de um gás exista ar e não espaços vazios.

Oliva-Martínez (1999) destaca o processo de desenvolvimento do conhecimento como evolutivo e considera que parte dos significados atribuídos aos conceitos de uma teoria pode ter origem a partir do significado de formulações anteriores. Desta forma, a aquisição de conceitos pode ser vista como a incorporação e enfraquecimento gradual de certas qualidades da concepção inicial, a qual pode se reestruturar. Além disso, a própria autora destacou a possibilidade de o aluno dispor de um determinado esquema e não o ativar em uma determinada situação e sim em outras, ou ainda se ativarem concepções distintas, o que pode estar relacionado à existência de esquemas distintos que convivem no pensamento do aluno. A consistência das concepções foi outro argumento utilizado pela autora para defender a existência de concepções assumidas pelos alunos frente a situações comuns. Sugere que o fato de o aluno manter suas concepções em contextos distintos pode estar relacionado ao tipo de tarefa proposta para sua detecção.

Liu e Lesniak (2005), em um estudo sobre o desenvolvimento conceitual dos alunos sobre quatro aspectos relacionados a estrutura da matéria, utilizaram a teoria de sobreposição das ondas dinâmicas sobre o desenvolvimento de competências dos alunos para a compreensão dos conceitos.

Segundo esse modelo, em linhas gerais, o desenvolvimento da compreensão das crianças é um processo variável, sendo que elas utilizam diferentes estratégias para resolver o mesmo problema em duas ou mais ocasiões em tempo próximo. Para verificar essas estratégias de pensamento, Siegler⁴ (1996; 1998 apud LIU; LESNIAK, 2005, p. 444) propôs um modelo, que denominou de sobreposição de ondas (figura 2, SIEGLER, 2000, p. 28, tradução nossa), cujo pressuposto básico é que o desenvolvimento do conhecimento é um processo de variabilidade, escolha e evolução.

⁴ SIEGLER, Robert. S. **Emerging minds: The process of change in children's thinking**. New York: Oxford University Press, 1996.
SIEGLER, Robert. S. **Children's thinking**. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

Figura 2 – Representação esquemática do modelo de sobreposição de ondas.

A teoria postula que as crianças normalmente conhecem e utilizam estratégias variadas para resolver um determinado problema em qualquer momento, com a idade e a experiência pode ocorrer uma frequência relativa da utilização dessa estratégia. Inicialmente algumas estratégias são populares e vão se tornando cada vez menos frequentes (estratégia 1), outras tornam-se frequentes antes de serem incorporadas por novas estratégias (estratégia 2), algumas são usadas ocasionalmente, mas nunca com frequência (estratégia 3), e outras são pouco usadas no início, mas vão se tornando mais dominantes no desenvolvimento (estratégia 4) até novas estratégias serem encontradas (estratégias 3 e 5) (SIEGLER, 2000).

De acordo com essa teoria, Liu e Lesniak (2005) verificaram que para explicar o conceito de matéria os alunos do ensino elementar à Universidade utilizam sucessivas e variadas estratégias. A primeira onda é considerada uma fase preparatória, na qual se desenvolve ideias informais sobre a matéria, como transformações e propriedades envolvendo os aspectos da água e do ar e ocorre entre alunos de 3ª a 4ª série do ensino fundamental. A segunda onda, alunos de 7ª série desenvolvem a compreensão sobre aspectos relacionados às transformações físicas e conservação da matéria. Na terceira onda, alunos da 8ª série do ensino fundamental à 1ª série do ensino médio desenvolvem a compreensão das propriedades químicas e das transformações químicas, sendo necessário um ensino que aprofunde alguns conceitos sobre a natureza particular da matéria para que os alunos desenvolvam a compreensão sobre a estrutura e composição da matéria (4ª onda). Explicações e previsões sobre as transformações da matéria usando teorias de ligações químicas representariam a última onda, tal nível de compreensão pode ou não ser alcançado até que o aluno chegue a Universidade. Somente neste nível, os alunos estariam fluentes em representar e coordenar explicações sobre as transformações em níveis macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos.

Na figura 3, os autores (LIU; LESNIAK, 2005, p. 445, tradução nossa) fizeram uma adaptação do modelo de sobreposição de ondas para representar o desenvolvimento de competências dos alunos para a compreensão da matéria.

Figura 3 – Processo de sobreposição de ondas dinâmicas para a compreensão do conceito de matéria.

Segundo os autores, o que há por trás do entendimento dos alunos, quando transitam de uma onda para outra, pode estar ligado aos diferentes tipos de estratégias que eles usam para explicar os conceitos e as inter-relações que eles estabelecem entre os conceitos.

Para Adadan, Trundle e Irving (2010), a progressão de aprendizagem ou percursos de aprendizagem ou caminhos conceituais é descrita como formas sucessivas e cada vez mais sofisticadas de raciocínio sobre um tema ao longo de um período de tempo e varia de aluno para aluno em relação às concepções existentes em sua estrutura cognitiva, contexto e instrução.

O estudo do desenvolvimento conceitual alcançado pelos alunos neste estudo longitudinal terá como base os pressupostos estudados por estes autores, com destaque principalmente nos trabalhos de Marín e Benarroch.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Estudos focalizando as concepções dos Alunos acerca de conceitos em nível submicroscópico relacionados à natureza corpuscular da matéria

A seguir, apresentam-se algumas discussões a respeito das concepções dos alunos sobre conceitos relacionados à estrutura da matéria a partir de estudos que focalizam as dificuldades em sua construção e compreensão principalmente nos aspectos relacionados a: constituição, estados físicos, estrutura atômica, formação de íons, transformações químicas, forças eletrostáticas intra e interpartículas.

Os alunos assumem as mais diversas características para a representação da matéria derivada de sua observação indireta e da interação cotidiana com uma série de fenômenos. Comentam que a matéria é lisa, contínua, estática (ADADAN; TRUNDLE; IRVING, 2010; TALANQUER, 2009). É comum atribuírem às partículas individuais, propriedades de cor, maciez, dureza, em oposição à percepção das propriedades físicas da matéria como um comportamento coletivo das mesmas. Consideram que as partículas de água e ar podem ser tingidas por substâncias como corantes. Os alunos associam mudança de tamanho das partículas aos processos de aquecimento e resfriamento, chegam a atribuir características às moléculas das substâncias, tais como, moléculas de gelo como maiores e as moléculas de vapor de água como de menor tamanho, ideias estas que decorrem da falta de entendimento sobre as forças de atração eletrostáticas que atuam entre as partículas (ADADAN; TRUNDLE; IRVING, 2010).

Em um estudo sobre a natureza corpuscular da matéria com 19 alunos da 2ª série do Ensino Médio, Adadan, Trundle e Irving (2010), usando multirrepresentações e tendo como foco a interação entre as concepções iniciais dos alunos e as advindas da instrução, investigaram a progressão conceitual dos alunos da pré-instrução para a pós-instrução e desta para três meses depois e verificaram também a eficácia da instrução em promover essa progressão.

Os autores utilizaram como instrumentos de coleta de dados, questionários prévios com questões abertas, entrevistas, análise documental, representações

pictóricas, conteúdo de explicações verbais e escritas. As questões exploravam as concepções dos alunos sobre sólidos, líquidos e gases e os arranjos de suas partículas, a ideia de espaços vazios, dissolução do açúcar em água, movimento das partículas em nível submicroscópico. Os alunos responderam ao questionário por três vezes (antes da instrução, pós-instrução e três meses após instrução).

A instrução (12 aulas) foi multirepresentacional, integrando várias sugestões didáticas para a construção de conceitos sobre a natureza particular da matéria (arranjo entre as partículas, distanciamento, densidade, movimento, forças eletrostáticas). O ensino encorajou os alunos à participação, com previsões, observações, inferências e questionamentos sobre fenômenos diferenciados, ligados aos aspectos acima relatados. Foram solicitadas aos alunos representações verbais e pictóricas com apresentação em quadros e pôsteres, seguidos de exposição em pequenos grupos e para toda classe. Foi realizado projeção em tela, de modelos de partículas para auxiliar as discussões, bem como simulações do fenômeno de dissolução e difusão de gases. Também foi dado, oportunidades para que os alunos contrastassem suas ideias iniciais com as finais.

As respostas dos alunos foram codificadas e os pesquisadores utilizaram a mesma folha de codificação e esquema de codificação para a análise das respostas dos alunos na pré-instrução, pós-instrução e pós três meses e pós-entrevistas. As entrevistas foram realizadas pós instrução, sendo que os questionários respondidos pelos alunos na pós-instrução orientaram a escolha de oito alunos para as entrevistas. Nas entrevistas foram feitas as mesmas perguntas do questionário e, quando necessário, outras de acompanhamento.

Os autores verificaram que alguns alunos antes do ensino consideravam que o espaço entre as partículas de um sólido e líquido eram idênticos, não apresentavam ideias de forças eletrostáticas definidas. Eles utilizavam termos, tais como “moléculas, partículas”, mas suas representações pictóricas não eram condizentes com essas ideias. O vazio entre as partículas de um gás não foi aceito pelos alunos e foi interpretado como a existência de outro tipo de gás. Após a instrução, eles construíram ideias sobre forças eletrostáticas e representaram os estados físicos da matéria com arranjo e espaçamento entre as partículas de forma mais coerente, especificando a diferença de forças de atração entre sólidos, líquidos e gases. Nas entrevistas, passaram a considerar a existência de vazio, movimento e de forças de atração entre

as partículas, diferenciando de forma coerente, as forças de atração entre as partículas de líquido e gás.

Uma das ideias mais difíceis para os alunos foi conceber o fato de que a matéria é descontínua, ou seja, que entre as partículas que compõem um material existem espaços vazios. Para Adadan, Trundle e Irving (2010), a noção de vazio para muitos estudantes é contra-intuitiva, o que pode estar relacionado às ideias de que os espaços vazios entre as partículas devam estar “cheios de coisas”, como ar, poeira etc. Desta forma, os modelos que surgem são macroparticulados híbridos, nos quais as partículas estão imersas na matéria contínua.

Em Benarroch (2000; 2001), se apresenta um estudo da evolução conceitual dos alunos sobre a natureza corpuscular da matéria que descreve os esquemas explicativos utilizados pelos alunos ao explicarem fenômenos em termos corpusculares. A autora utilizou entrevistas individuais com 43 alunos de distintas idades (9-22 anos) e de distintos cursos (4º ano primário à Universidade) com diferentes rendimentos acadêmicos e variáveis níveis operatórios. Sua amostra derivou de um estudo piloto com 330 alunos.

Um conjunto de situações foi apresentado para que os alunos utilizassem ideias em nível submicroscópico na explicação dos fenômenos, tais como: dissolução de um sólido em água, mistura de álcool e água e compressão de um gás. Cada entrevista foi transcrita de forma literal e depois a autora selecionou os aspectos mais sobressalientes, categorizou as respostas dos alunos e as hierarquizou, utilizando um estudo estatístico (análise cluster fatorial e análise de correspondência). Em seguida, delimitou os níveis de esquemas explicativos dos alunos em função do conteúdo evolutivo comum que surgiam nas explicações para as situações planejadas.

A autora encontrou cinco níveis de esquemas explicativos sobre a natureza corpuscular da matéria (quadro 2, BENARROCH, 2001, p. 127, tradução nossa). O nível V do modelo explicativo é o único modelo causal explicativo dos processos físicos da matéria. Os níveis anteriores constituem aproximações sucessivas dos modelos adotados pelos cientistas, demonstrando como evoluem as concepções em nível macroscópico para o submicroscópico. A construção dessas concepções implica na liberação progressiva das características macroscópicas observadas em um sistema em transformação.

No seu estudo, Benarroch (2000; 2001) observou que houve uma evolução nos níveis explicativos de alguns alunos, pois durante o processo, com a realização das

entrevistas, os esquemas cognitivos foram alimentados e foi possível aos alunos avançarem em seu desenvolvimento cognitivo.

Quadro 2 – Descrição do conhecimento dos alunos sobre fenômenos que podem ser explicados em termos corpusculares.

Nível	Modelo de matéria	Tipo de explicação
I	A matéria é contínua e estática, a não ser que macroscopicamente se observe o contrário.	Não há explicação, somente descrição em nível macroscópico.
II	A matéria é percebida como: - contínua contendo partículas, - contínua com espaços.	Utilização de elementos perceptíveis (bolhas, bolinhas, buracos etc.), explicações em nível pseudomicroscópico.
III	A matéria é formada por partículas e há espaços entre elas. Não é necessário o vazio entre as partículas.	Explicações em nível submicroscópico fundamentadas em partículas ou “buracos cheios de algo” (ar, éter, nada etc).
IV	A matéria é formada por partículas e o vazio é necessário entre as mesmas.	Explicações em nível submicroscópico fundamentadas na disposição das partículas (mais ou menos separadas).
V	A matéria é formada por partículas que interagem, e existe movimento e espaços vazios. Alcançam o modelo científico.	Explicações acadêmicas ou quase acadêmicas em nível submicroscópico.

A autora verificou que os alunos apresentam de forma espontânea uma visão contínua da matéria (nível I), não atribuem às partículas nenhum significado em nível submicroscópico, pouco evoluíram para o nível II ao considerar a matéria constituída por partículas. Os de nível II normalmente permaneceram no mesmo nível. Os alunos de nível III, que não diferenciavam entre o vazio e matéria, aceitavam o vazio entre as partículas, mas não atribuíam a ele nenhum significado e permaneciam no nível III. Os que diferenciavam o vazio e a matéria davam respostas mais elaboradas e avançavam para o nível IV. Aqueles que aceitavam que a matéria era descontínua e concebiam a ideia do vazio, ampliaram suas explicações e avançaram para o nível V.

Dessa forma, a autora argumenta que as explicações dos sujeitos são consequências dos tipos de construtos cognitivos (esquemas específicos e esquemas operatórios) que foram gerados dependentes do conteúdo e argumentou que estes apresentam diferentes graus de generalidade. Segundo Benarroch (2000), a barreira entre os níveis explicativos I e II poderia ser de natureza operatória, pois exigiriam maior grau de reflexão pelos alunos. E entre os níveis explicativos III, IV e V, poderiam ser de caráter específico.

Uma outra pesquisa para compreender a evolução conceitual dos estudantes foi realizada por Liu e Lesniak (2005) e tinha como principal objetivo investigar se existia a progressão conceitual relacionada a quatro aspectos do conceito da matéria:

conservação, transformações e propriedades físicas, transformações e propriedades químicas, estrutura e composição.

Para verificar a progressão conceitual os autores usaram um conjunto de dados provenientes do projeto TIMSS⁵ (Third International Mathematics and Science Study) de uma amostra da população de alunos advinda dos E.U.A. O teste TIMSS continha questões que contemplavam os quatro aspectos que os autores queriam investigar. A análise dos dados revelou que os estudantes de 2º e 3º ano do Ensino Fundamental não apresentavam competências representacionais e de abstração para compreender os quatro aspectos do conceito (conservação, propriedades físicas e mudanças, propriedades químicas e mudanças, estrutura e composição). Esses estudantes apresentavam ideias informais sobre a matéria.

Os alunos do 6º e 7º ano do Ensino Fundamental apresentavam competências para compreender a conservação da matéria, transformações físicas e propriedades físicas, mas não eram hábeis em entender as propriedades químicas e as transformações químicas. Alunos de 9º ano do Ensino Fundamental e os de 3ª série de ensino médio tinham competências para a compreensão dos quatro aspectos do conceito de matéria, mas apresentavam dificuldades em entender o modelo particular da matéria e os alunos da 3ª série do Ensino Médio com especialização em matemática e ciências apresentaram competências para a compreensão de todos os quatro aspectos do conceito, ficando incerta a compreensão destes alunos sobre os conceitos de ligações químicas.

Os autores sugerem que as competências dos alunos para a compreensão do conceito de matéria se desenvolvam a partir do 6º ano do Ensino Fundamental e argumentam que o processo não é linear, mas com competências construídas pela sobreposição de um nível a outro como mostra a figura 4 (LIU; LESNIAK, 2005, p. 444, tradução nossa).

Liu e Lesniak (2005), ao compararem o modelo de progressão do desenvolvimento conceitual que elaboraram com a teoria de sobreposição das ondas dinâmicas (SIEGLER⁶, 1998 apud LIU; LESNIAK, 2005) sobre o desenvolvimento de competências dos alunos para a compreensão do conceito de matéria, verificaram

⁵ TIMSS (Third International Mathematics and Science Study), teste internacional que avalia o desempenho dos alunos em matemática e ciências, no qual estão envolvidos 45 países, com a participação de alunos do ensino fundamental, secundário, programas de educação profissional e de cursos avançados de matemática e física. Disponível em: <http://timss.bc.edu/timss1995i/items.html>.

⁶ SIEGLER, Robert. S. **Children's thinking**. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998.

que o desenvolvimento da compreensão desses quatro conceitos pelos alunos do ensino elementar ao universitário sofreram sucessivas sobreposições e cada aluno pode seguir caminhos diferentes, sendo que os conceitos sobre a estrutura, composição da matéria e a teoria das ligações são os aspectos mais abrangentes.

Figura 4 – Padrão de progressão dos aspectos da matéria e níveis de habilidade dos alunos

Adadan (2012) realizou um estudo com alunos da 2ª série do ensino médio (16-17 anos), utilizando múltiplos representações para promover a compreensão científica sobre a natureza corpuscular da matéria. Ele verificou os seguintes aspectos sobre a Natureza da Matéria: espaçamento relativo, movimento, existência de vácuo e forças intermoleculares agindo entre as partículas. Utilizou dois tipos de instrução ao longo de um período de três meses: múltiplas representações (IMR) e representações verbais (IVR).

Participaram do estudo, um grupo de 23 alunos instruídos por (IMR) e 19 alunos por (IVR). Para a coleta de dados os autores utilizaram questionários, antes e após a instrução e entrevistas, além de outros materiais produzidos pelos estudantes.

Ambos os grupos foram instruídos com a utilização de tarefas semelhantes. No entanto, eles se diferenciaram na frequência do uso das múltiplos representações que estavam associadas a fenômenos macroscópicos e que exigiam ações ao nível submicroscópico. Os alunos trabalharam e interagiram em grupos, fazendo previsões, observações, inferências e questionamentos, utilizando ideias em nível

submicroscópico para explicar fenômenos físicos. Também produziam desenhos, utilizando modelos de partículas para cada fenômeno observado.

O grupo IVR comunicou seus entendimentos através de representações verbais (oral e textual) mas o grupo IMR usou representações verbais e visuais. Após o compartilhamento de suas interpretações em grupo, as melhores representações verbais e visuais apresentadas pelos alunos foram discutidas com toda a classe.

Os alunos apresentaram dificuldades de progredir sobre a ideia de que entre as partículas de um líquido existem espaços vazios, quanto ao movimento das partículas, embora o percebessem, não estavam certos do movimento das partículas em um sólido. Após a instrução as ideias de que as partículas do sólido tem movimento foram elaboradas com auxílio de instrumentos, tais como apresentações de animações e modelos de partículas. Mas passado três meses, quase 50% dos estudantes regrediram em suas ideias.

Antes da instrução os alunos não relacionavam a existência de forças eletrostáticas entre as partículas com o espaçamento entre as mesmas, IMR (9% dos alunos) e IVR (5%). Após a instrução, os alunos de IMRs evoluíram na compreensão desta ideia (74%) e após três meses 54% destes mantiveram as concepções estabelecidas. Do grupo IVR, 43% dos alunos evoluíram em considerar a existência de forças eletrostáticas entre as partículas e 30% mantiveram as concepções estabelecidas após três meses de instrução.

Sobre a existência de vácuo entre as partículas, 40% dos alunos do grupo IVR tinham essa percepção antes da instrução, mas 75% dos alunos do IMR não exibiam compreensão sobre este fato. Ambos os grupos citavam a existência de ar, gás carbônico, a presença de mais oxigênio, elétrons etc., entre as partículas da matéria. Durante a instrução ao serem questionados sobre o que existia entre as partículas de um gás, passaram a considerar a existência do vazio. Após a instrução 80% do grupo IMR e 40% do grupo IVR mantiveram a compreensão científica sobre este conceito, sendo que 30% dos alunos do grupo IVR regrediram a suas concepções iniciais após três meses.

Os autores sugerem que a diferença nos resultados entre os dois grupos se deva a divergência da frequência com que cada grupo interagiu com os tipos de representações apresentadas durante a instrução. Os alunos do grupo IMR tiveram oportunidade de experimentar o conhecimento em vários níveis: macroscópicos e submicroscópicos, processando-os através de múltiplos canais, tais como visuais

(olhos) e verbais (olhos e ouvidos), conectando e integrando as representações com sua estrutura conceitual o que exigiu dos mesmos que recuperassem representações relevantes da memória de longo prazo e evocassem novas formas de representações.

Já os alunos do IVR processaram o conhecimento através de um único canal, o verbal. Os autores sugerem que este fato pode ter afetado as representações de modelos visuais pela forma como os alunos interpretaram o conhecimento a partir das representações verbais, dentro dos limites de suas estruturas conceituais existentes, estabelecendo fracas associações verbais e visuais na construção de seu conhecimento. Este fato pode ter gerado modelos visuais não correspondentes ao modelo científico e sim alternativos. Além disso, o regresso das concepções dos alunos do IVR pode estar associado ao fato de que houve um fraco estabelecimento entre as conexões das concepções científicas com sua estrutura conceitual não havendo integração das mesmas.

Os resultados da pesquisa de Adadan (2012) apontam que os estudantes instruídos pelo IMR exibiram progressão mais acentuada na compreensão científica sobre a teoria particular da matéria do que os estudantes instruídos pelo IVR.

Em Talanquer (2009) e Adadan (2012) também encontramos, por exemplo, a ideia de que os objetos físicos sólidos são contínuos. Tal fato pode dificultar a construção de concepções sobre a descontinuidade da matéria. Segundo Talanquer (2009), os alunos, em vários níveis de escolaridade, não apresentam a noção de espaços vazios entre as partículas constituintes da matéria e atribuem propriedades macroscópicas às partículas, como por exemplo, “átomos e moléculas se expandem ao serem aquecidos”, ou ainda, “moléculas têm a mesma densidade e cor da substância real”.

Para Adadan (2012), os alunos tendem a assumir que as partículas em um sólido estão mais próximas do que as do líquido, superestimando o espaçamento entre as partículas de um líquido e subestimando o distanciamento entre as partículas de um gás. Segundo a autora, estes modelos mantêm uma estreita relação com os modelos apresentados em livros didáticos sobre os estados físicos da matéria. Os alunos muitas vezes não são capazes de associar o movimento das partículas às mudanças de estado físico da matéria e a outras propriedades físicas e químicas. Tanto para Talanquer (2009) quanto Adadan (2012), a noção de forças eletrostáticas agindo entre as partículas de uma substância parece ser um dos conceitos de maior

difficuldade encontrado pelos estudantes. Eles pouco utilizam estas ideias para explicarem os estados físicos da matéria.

Entender a matéria como descontínua, utilizando um modelo corpuscular nas explicações, não é espontâneo aos alunos. Segundo Pozo e Crespo (2009), a ativação desse modelo por parte dos alunos depende do contexto. Assim, frente a questões abertas como “por que uma camisa seca”, poucos alunos se utilizam de modelos corpusculares da matéria para interpretá-las. Mas, quando nas questões de múltipla escolha se alternam respostas de caráter em nível macroscópico e submicroscópico ocorre o aumento de interpretações em nível submicroscópico, no entanto, as representações pictóricas que surgem são confusas e superficiais e os alunos misturam informações da instrução com suas ideias prévias. Diante de tarefas mais complexas, as respostas dos alunos se tornam também mais complexas, mesmo que estejam cheias de erros. O tipo de fenômeno ao qual o aluno é exposto também parece influenciar suas respostas.

Para investigar como se dá o processo de aprendizagem de alguns conteúdos de química pelos alunos, bem como as dificuldades que encontram, Crespo, Pozo e Gutiérrez (2004) desenvolveram um estudo em um período de quatro a cinco semanas, com alunos do 1º ano (14-15 anos) do Ensino Médio, acompanhando dez salas, na aprendizagem da teoria corpuscular da matéria e sua utilidade para interpretar a estrutura da matéria.

O estudo se baseou na realização de atividades com a finalidade de que, ao realizarem as tarefas propostas, os alunos explicassem o comportamento da matéria tanto do ponto de vista macroscópico quanto submicroscópico, fazendo previsões e buscando explicações para diferentes fenômenos. A pesquisa contou com a participação de um grupo experimental e um grupo controle. Assim, embora todos os alunos participassem das mesmas atividades, os alunos grupo controle não foram convidados a estabelecerem relações entre as explicações em nível macroscópico e submicroscópico. Por exemplo, os alunos do grupo experimental, mediado pelo professor, deveriam elaborar respostas em nível submicroscópico a um experimento sobre a difusão de um gás – perfume lançado em uma sala fechada. Os alunos discutiam, faziam previsões, explicavam porque o perfume se difundia por toda sala e buscavam generalizar suas explicações.

Os resultados dos dois grupos foram comparados por meio das respostas a um mesmo questionário aplicado antes do início das atividades (pré-teste) e reaplicado

três meses após a aplicação do pré-teste e dois meses desde o final da instrução (pós-teste). O questionário explorou ideias sobre a existência do vazio e da descontinuidade da matéria, movimento das partículas e mecanismos de mudanças de estado.

Os resultados revelaram que ambos os tipos de instrução produzem progresso na aprendizagem dos alunos, no entanto, os alunos do grupo experimental apresentaram um número de respostas corretas mais significativas para a noção da descontinuidade da matéria, os mecanismos de mudança de estado e a existência de vazio. Ocorre a mesma tendência para ambos os grupos em relação ao aspecto do movimento intrínseco das partículas e para a dissolução.

Para os autores, a instrução experimental dirigida para promover uma diferenciação e integração hierárquica dos modelos macroscópico e submicroscópico produz uma melhor aprendizagem dos alunos e conduz a utilização mais eficaz da teoria científica.

Pozo e Crespo (2000) realizaram um estudo com 278 alunos da província de Madrid que apresentavam diferentes níveis de instrução em química e idades variadas (12-17 anos, adolescentes e universitários). O objetivo foi o de verificar como os alunos discriminavam a ideia da existência de espaços vazios entre as partículas e a ideia de que não poderia haver nada entre elas por estarem muito próximas umas das outras.

Para isso, os autores aplicaram um questionário, propondo diferentes situações que envolviam materiais no estado sólido, líquido e gasoso. Para cada situação questionavam aos alunos sobre “o que acreditavam existir entre as partículas do material estudado”. Forneceram aos alunos cinco opções de escolhas: a) nada, não há espaços vazios entre as partículas, estão muito juntas umas das outras; b) há um espaço vazio no qual não existe nada; c) existe mais substância deste mesmo material; d) existe ar entre as partículas; e, e) existe outra substância. Analisaram as respostas dos sujeitos levando em consideração tanto a proporção de acertos para a ideia de que entre as partículas de uma substância existe um espaço vazio, quanto o uso de concepções alternativas, em função do nível de instrução e do conteúdo da tarefa.

Os resultados do estudo apontam que os alunos expostos a um ensino que valoriza os conceitos científicos optam pela opção correta, apresentando pontuação mais significativa do que os demais. Apesar disso, existe uma escassa compreensão

da ideia de vazio entre as concepções desses estudantes independentemente do nível de instrução e idade. Os resultados mostram que a descontinuidade da matéria é menos usada para explicar o estado sólido (15% das respostas), seguida do estado líquido (19%) e estado gasoso (22%). Os autores verificaram que a aparência do material influencia as concepções dos estudantes sobre a continuidade e descontinuidade da matéria. Assim, a ideia do vazio é utilizada com mais frequência para representar o estado gasoso e em menor escala para os sólidos, situando os líquidos em posição intermediária de nível de dificuldade. No caso dos sólidos, os alunos ativam com mais frequência a ideia de continuidade considerando que não existe nada entre as partículas, sequer o vazio. Este fato, segundo os autores, pode estar relacionado a aparência perceptiva que os estudantes adotam dos sólidos, como por exemplo, como sendo entidades compactas, densas e contínuas. No caso dos gases, houve o predomínio de ideias sobre a existência de ar entre as partículas.

A teoria cinética das partículas da matéria é um componente-chave em vários currículos de ciências e explica o comportamento da matéria em uma variedade de fenômenos físicos, como por exemplo, efeito do calor (dilatação, mudança de estado físico e variações de temperatura), comportamento dos gases (compressão e expansão), fenômenos moleculares dos líquidos, difusão e osmose, dissoluções.

Evidenciando a importância da compreensão dos alunos sobre a teoria cinética particular, um estudo de Treagust e colaboradores (2010) investigou as concepções de 148 estudantes de 14-16 anos do Ensino Médio de 4 países (Brunei, Austrália, Hong Kong e Cingapura) sobre esse conceito, utilizando um instrumento designado de *Instrumento da Teoria Cinética da partícula (KPTI)*, que consta de 11 itens de múltipla escolha (com mais de um item para avaliar o entendimento de certo conceito em diferentes contextos) e solicita dos alunos explicações sobre o item por eles selecionados.

O conteúdo das respostas dos estudantes pôde ser agrupado em 3 categorias: (1) espaçamento intermolecular em sólidos, líquidos e gases, (2) mudanças de estado e forças intermoleculares e (3) difusão em líquidos e gases. Os autores encontraram, para as respostas relacionadas à categoria 1, que a maioria dos estudantes (87,8% do total) considera que, na compressão de um mesmo volume de líquido e gás, o volume final de gás é muito menor do que o do líquido, devido ao espaçamento maior entre as partículas do gás. Também sugeriram que a redução de massa do gás na compressão não sofre qualquer efeito (86,5% do total). Na mistura de dois líquidos

(água e álcool), a maioria dos estudantes sugeriram que o volume foi conservado porque as forças de atração entre as partículas eram constantes. Apenas 55,4% do total dos alunos explicaram que a redução do volume foi devido às partículas terem ocupado os espaços vazios intermoleculares.

Para as respostas relacionadas à categoria 2, a maioria dos alunos (91,9-100% do total) sugerem que a temperatura se mantém inalterada na fusão do naftaleno e na ebulição da água. No entanto, apenas 35,1% dos alunos explicaram que a energia (calor) foi absorvida para enfraquecer as forças intermoleculares do sólido naftaleno e somente 25,0% dos estudantes explicaram que a temperatura de ebulição da água se relaciona, entre outros fatores, ao tempo necessário para enfraquecer as forças intermoleculares antes da água em estado líquido se tornar água no estado de vapor.

Já na categoria 3, as respostas para a difusão da fumaça de um cigarro se deve ao movimento de zigzag aleatório das partículas. Os estudantes ainda atribuem a esse fato à presença de moléculas de ar que se deslocam de forma aleatória. Apenas 43,2% dos estudantes explicaram que o movimento aleatório de partículas de fumaça foi devido a colisões com as partículas do ar. A difusão da tinta em água para produzir uma solução uniforme azul, após várias horas, foi considerada por poucos alunos (42,9% de alunos australianos), apenas 12,8% dos estudantes atribuíram a mudança ao movimento de partículas de tinta. A capacidade das moléculas de ar se difundirem através dos poros nas paredes de um balão inflado foi sugerido por mais de 90% dos alunos de todos os quatro países.

Com esse estudo, os autores verificaram que ocorre uma limitada compreensão dos conceitos cinéticos das partículas pelos alunos e que a consistência no entendimento desses conceitos nas três categorias conceituais foi ínfima quanto a capacidade de fornecerem explicações cientificamente aceitáveis. Eles sugerem que, no sentido de facilitar uma compreensão mais coerente e consistente, os alunos precisam ser expostos a uma série de experiências em diferentes contextos e em discussões em grupos sobre suas observações, relacionando-as em termos das partículas. Eles também sugerem a utilização de estratégias de ensino que incluam modelos, analogias e simulações em computadores.

Os estudos mostrados até o momento apresentam muitas contribuições, pois além de caracterizarem o tipo de concepção dos alunos em relação aos conceitos submicroscópicos relacionados a estrutura da matéria, também indicam orientações de como essas concepções podem ser coletadas e analisadas.

Extraíu-se desses estudos que os alunos apoiam suas explicações com base naquilo que podem perceber e acabam por atribuir às entidades submicroscópicas ideias animistas e substancialistas. A ideia da existência de espaços vazios entre as partículas que constituem a matéria parece ser a concepção mais problemática para ser construída pelos alunos. Muitos alunos apontam que entre as partículas da matéria exista, poeira, ar e “algo”. Também se percebe pouca compreensão em relação às ideias sobre forças eletrostáticas, apesar de os estudos apontarem que após a instrução essas ideias podem ser construídas.

Várias sugestões de estratégias metodológicas também foram verificadas nesses estudos e podem contribuir para analisar o processo de aprendizagem dos alunos nesta pesquisa, tais como, discussões em grupos, explicações verbais, apresentação de pôster. Para a coleta de dados, ocorreram sugestões como a utilização de questionários, entrevistas com questões abertas, representações pictóricas, grupos de controle e experimentais, todos compondo um quadro de contribuições importantes.

Nesta revisão, destacou-se principalmente, os estudos de Benarroch (2000; 2001) que traz uma proposta da elaboração de níveis de esquemas explicativos que pode contribuir para que sejam analisadas as concepções dos alunos quando evoluem de um nível de menor a maior grau de reflexão.

A seguir, serão apresentados alguns estudos que focalizam sobre a estrutura da matéria (modelos atômicos, partes, partículas e movimento) e dão suporte para compreender como os alunos pensam sobre estes aspectos.

Segundo Harrison e Treagust (1996), o uso do termo “modelo” acarreta uma considerável variação de significados, tanto para estudantes de ciências, como para os profissionais da área.

O que nós realmente queremos dizer quando falamos que duas bolas brancas separadas por uma bola preta e interligadas por algumas molas é um modelo útil para o dióxido de carbono? O que queremos dizer quando falamos que o princípio de Le Chatelier é um bom modelo (ou algoritmo) para resolver problemas de equilíbrio? Ou ainda, o que queremos dizer quando usamos bolas colidindo em um simulador de teoria cinética para modelar o comportamento do gás ideal? (HARRISON; TREAGUST, 1996, p. 511, tradução nossa).

Segundo esses autores, os significados para o termo modelo são quase tão variados quanto à variedade de modelos usados em química. Portanto, acreditam ser importante realizar estudos com alunos do ensino médio sobre o entendimento do modelo atômico. Eles entrevistaram alunos da 1ª a 3ª séries do Ensino Médio. Cada

aluno tinha estudado pelo menos uma unidade em química por ano que apresentava conceitos como modelos de átomos e moléculas.

Os autores utilizaram como instrumento para a investigar as concepções dos alunos entrevistas semiestruturadas com duração média de 20 minutos. Durante as entrevistas, os pesquisadores questionavam os alunos sobre as explicações para alguns fenômenos químicos, sendo que, algumas vezes, solicitavam que representassem suas ideias por meio de desenhos. Ainda, se o aluno levasse muito tempo para expressar explicações utilizando termos científicos, os pesquisadores incluíam esses termos e solicitavam que os estudantes utilizassem os mesmos em suas explicações orais ou nos desenhos.

Cada entrevista foi gravada em áudio e transcrita na íntegra. As transcrições foram comparadas com os desenhos dos alunos para formar o corpo de dados para análise. O principal resultado encontrado pelos autores foi o mesmo número de alunos ter escolhido o modelo do sistema solar e o modelo de nuvem de elétrons. Os alunos dos cursos iniciais apresentavam representações científicas relacionadas a modelos concretos, porque tais modelos se parecem com objetos de seu mundo cotidiano. O modelo de nuvem de elétrons foi escolhido, mas não necessariamente se pode afirmar que eles aceitem tal modelo. Alguns alunos podem ter escolhido esta representação devido a ênfase que os professores deram a nuvem de elétron durante o ensino.

Concepções alternativas geradas durante a instrução podem ter surgido nas entrevistas e interferido nas ideias dos estudantes sobre átomos e moléculas. Os estudantes podem não ter ainda claramente formulado, nem bem articulado, modelos mentais de camadas eletrônicas e nuvens de elétrons. No entanto, já possuem modelos mentais de “conchas” e nuvens de elétrons. Mas muitos podem apenas ter ouvido esta linguagem “científica” do discurso dos professores.

Uma simples reconciliação de imagem cotidiana dos alunos de uma nuvem com conceitos científicos de átomos poderia ter gerado a analogia *“gotas de água em uma nuvem são como elétrons em uma nuvem de elétrons”*. Concepções alternativas de “nuvens” evidenciadas na entrevista demonstram que os alunos podem gerá-las a partir de um discurso técnico e, se isso pode acontecer em uma entrevista, também poderia ocorrer em uma sala de aula. Dessa forma, a importância de o professor sempre questionar os estudantes e estimulá-los a manifestarem suas ideias alternativas e promover situações nas quais elas possam ser reelaboradas em ideias mais relacionadas aos conhecimentos científicos.

Assim, os autores argumentam que a diversidade de modelos atômicos e moleculares disponíveis fornece um contexto ideal para que sejam promovidos o pensamento metacognitivo e o discurso sobre a natureza da ciência. O desenvolvimento da modelagem e do uso sistemático de modelos analógicos em química pode, a longo prazo, gerar uma compreensão mais sofisticada da ciência. Vários modelos e analogias também têm a capacidade de redirecionar ontologicamente a aprendizagem da ciência longe de uma preocupação com explicações centrada na matéria em direção a explicações orientadas por processos. Alguns poderiam dizer que tudo isso é intelectualizar e marginalizar a ciência, mas há também um argumento poderoso para dizer que a modelagem, analogamente, é um processo que tem tornado a ciência mais relevante e parecida com a vida cotidiana.

Ainda, os autores argumentam que, diante desses resultados, muitos professores desistem de usar analogias em suas aulas, o que seria inadequado. O significado do termo “modelo” revela que, sem modelos analógicos, o ensino de química é reduzido a uma mera descrição das propriedades macroscópicas e mudanças. Modelos analógicos são parte intrínseca da compreensão em química. Além da teoria atômica, fórmulas químicas, equações químicas, teoria cinética, ácidos e bases, rapidez de reação, todos dependem de modelos para a sua explicação. Assim, pelo contrário, a melhor abordagem é a de tomar o tempo necessário para desenvolver habilidades de modelagem com os alunos. Essas habilidades podem capacitar os alunos em todo o ensino, porque os modelos, utilizados abertamente ou de outra forma, são encontrados em matemática e ciências humanas, bem como na ciência. A compreensão do aluno provavelmente diminui quando os modelos são usados porque, muitas vezes, eles não reconhecem que a explicação ou processo que estão usando é um modelo e, conseqüentemente, confundem o modelo com a realidade.

Outra contribuição encontrada durante a pesquisa pelos autores está na forma de como conduzem as perguntas, uma vez que, instigando os estudantes para que manifestem suas concepções, é preciso direcioná-los a respostas mais condizentes com a ciência, oferecendo-lhes “pistas”.

As dificuldades com o uso de metáforas e analogias no ensino de modelos atômicos também foi o foco do estudo dos autores Gomes e Oliveira (2007). Segundo eles, muitas estratégias usadas por docentes para tornar o ensino mais atrativo ou com a intenção de facilitá-lo, na realidade podem se tornar sérios entraves na

aprendizagem do conceito científico. A equivocada utilização de metáforas e analogias pode não suscitar interesse pela compreensão do fenômeno estudado. Ainda, os autores apontam que Bachelard chamou esses subterfúgios de obstáculos epistemológicos. A leitura de Bachelard instigou os autores deste trabalho a buscarem respostas para as dificuldades que os alunos apresentam quando a estes é solicitado manifestarem ideias abstratas, por exemplo, em relação ao modelo atômico e suas estruturas, bem como as interações moleculares. Assim, o objetivo do trabalho foi identificar os obstáculos epistemológicos em alunos de oitava série do ensino fundamental e de primeiro ano do ensino médio referentes ao ensino de atomística, procurando compará-los, visto que aprenderam este conteúdo com diferentes materiais didáticos. Para realizarem esse levantamento, os autores aplicaram 291 questionários nos quais foram analisados respostas e desenhos que evidenciavam tais obstáculos.

O questionário elaborado pelos autores consistiu em 3 perguntas, sendo a primeira objetiva (constava de duas partes) e as outras duas abertas. Na primeira questão, havia 8 alternativas a respeito da estrutura e finalidade da eletrosfera, buscando identificar as concepções que os alunos possuíam dela. Nessa questão, não havia apenas uma alternativa que melhor representasse um ponto de vista, havia, na realidade três alternativas relativamente complementares que poderiam ser consideradas corretas. As demais questões eram abertas e visavam pesquisar qual modelo de átomo o aluno aceitava como correto ou que mais se aproximasse da sua compreensão. Para isso, foi pedido que os alunos desenhassem como estariam “visualizando” o átomo, caso ele fosse visto através de um microscópio com lentes de aumento muito poderosas, e como eles poderiam separá-lo se pudessem manipulá-lo com pinças igualmente sensíveis e poderosas. A terceira questão, também aberta, perguntava qual a explicação que o aluno dava para a aceitação da teoria atomística, tendo em vista que o átomo nunca foi visualizado (GOMES; OLIVEIRA, 2007).

Os autores encontraram como principais resultados que os alunos tanto de 8ª série quanto de 1ª série aceitam os elétrons pertencendo a eletrosfera, a existência das camadas da eletrosfera que funcionam de maneira semelhantes a um trilho de trem, os elétrons “rodando” ao redor do núcleo em uma órbita fixa, ou seja, nunca se altera a direção de sua rotação. Segundo os autores, isso demonstra que, embora haja a noção de eletrosfera, os alunos não têm clara a dinâmica de movimento dos elétrons.

A análise dos desenhos obtidos, na segunda questão do questionário, foi feita enquadrando-os através de semelhanças com os modelos pré-estabelecidos na literatura. No total, cinco modelos foram identificados pelos autores: ANIMISTA (GALIAZZI et al., 1997), que coloca características das células dos seres vivos à matéria; MODELO DE DALTON, referente ao átomo como “bola de bilhar”, que seria a menor parte da matéria, sendo, portanto, indivisível e indestrutível; MODELO DE THOMSON, que seria o modelo “pudim de passas”; e o MODELO DE RUTHERFORD, com a divisão em um núcleo com prótons e nêutrons e uma eletrosfera com elétrons. O modelo de átomo de Rutherford-Bohr, que mostraria os níveis de energia das camadas, e o modelo atômico de Sommerfeld, no qual a eletrosfera seria composta de órbitas elípticas com um aspecto de tridimensionalidade, foram contabilizados juntamente com o modelo de Rutherford. Alguns modelos, por não corresponderem a classificação exposta, foram classificados como OUTROS; isso se deu pelo fato de se apresentarem em um estado “intermediário”, isto é, com características de mais de um modelo, o que dificultaria o seu enquadramento (GOMES; OLIVEIRA, p. 102, 2007).

Os autores apontam que, pelo fato de o modelo de Rutherford ser ensinado tanto na apostila quanto no livro didático, era esperado que se encontrasse um número semelhante entre as duas séries. Assim, foram encontradas 117 amostras no primeiro ano (80%), e 105 na oitava série, perfazendo um percentual semelhante de 80%. Esse resultado majoritário era, segundo os autores, de certa forma, esperado, tendo em vista que esse modelo é o atualmente mais aceito para esse nível de escolaridade, sendo muitas vezes, tratado como a melhor explicação atual para a estrutura atômica.

Na segunda parte da segunda questão, foi pedido para que os alunos separassem o átomo nas partes que julgassem possíveis. Os autores apontam que a separação que indicava a noção mais correta seria em: “prótons, nêutrons e elétrons” e foi apontada 23 vezes no primeiro ano (19%) e 37 vezes na oitava série (14%). Em relação à terceira questão, os autores apontam que não houve resposta plenamente satisfatória. Na oitava série, 41 alunos apontaram os estudos e experiências e 71 alunos da 1ª série deixaram em branco.

A partir da análise dos questionários, os autores puderam evidenciar a existência de alguns obstáculos epistemológicos no ensino de atomística em ambas as séries analisadas. A dificuldade de superação dos modelos utilizados, considerando inclusive que muitos deles não são os atualmente aceitos, mas são

mostrados com a finalidade de fazer uma abordagem histórica, segundo os autores, são bons exemplos de possíveis entraves.

Segundo Gomes e Oliveira (2007), para a aprendizagem do conhecimento científico, é preciso que se tenha apenas um modelo como uma representação, havendo necessidade de abstrair de suas figuras e esquemas para que haja uma verdadeira compreensão. Além disso, não é apenas o conceito que está se constituindo em um obstáculo, as partículas atômicas também não são bem compreendidas pelos alunos das séries estudadas. Os autores apontam que é possível que as duas questões estejam relacionadas, pois as representações podem conduzir a ideias erradas de localização e funcionalidade.

Em relação ao ensino de modelos atômicos os autores apontam que: *“Explicitar os diferentes modelos é importante, mas é preciso ter muito cuidado para que ocorram as rupturas necessárias, ou seja, para que a explanação ocorra construindo uma linha de raciocínio que conduza à real aprendizagem”* (GOMES; OLIVEIRA, 2007, p. 109).

Os modelos atômicos também foram estudados por Galiazzi et al. (1997), a autora investigou o conceito de átomos por alunos de 2ª série de Ensino Médio, alunos de Licenciatura em Ciências e Habilitação em Química e professores do curso de licenciatura. Solicitou que os participantes desenhassem como imaginavam o átomo. Analisou cerca de 500 representações, sendo 50 de professores universitários. O modelo que mais ocorreu entre as representações foi o de Rutherford-Bohr, nos quais foram indicadas as camadas eletrônicas e identificado o número de elétrons. Dentre os modelos encontrados, surgiram representações de “modelos animistas” para o átomo, como uma célula. Também ocorreram modelos substancialistas, no qual, foram atribuídas propriedades da matéria para o átomo. Poucos modelos foram representados pelo modelo de Thomson, no entanto, um dos modelos apresentou polarização no átomo com a indicação de partículas positivas de um lado e negativas do outro.

Em nenhum desses modelos ficou clara a ideia da quantização de energia para o “salto de elétrons”. Ocorreram alguns modelos com órbitas elípticas e concêntricas, as quais enfatizavam a importância dos elétrons.

Da análise dos resultados, os autores sugerem que os professores apresentem aos alunos a evolução dos modelos atômicos levando em conta o contexto de cada época. Às vezes, os alunos constroem seus modelos com base nas ações didáticas do professor e estes modelos didáticos podem apresentar falhas. Em virtude dos

resultados, os autores propõem que os professores reflitam até onde querem chegar com o desenvolvimento desse conceito, pois, muitas vezes, em sala de aula o uso de modelos é apresentado de forma pronta e acabada, como se fosse definitivo, como uma simplificação da realidade, gerando mais dúvidas nos alunos.

Em Carmona (2006) encontrou-se que, do ponto de vista didático, é aconselhável introduzir a estrutura eletrônica dos átomos como consequência das interações eletrostáticas produzidas em seu interior. O autor investigou as dificuldades dos alunos de 14-15 anos sobre a estrutura eletrônica dos átomos. Explorou como os alunos pensavam sobre: a estrutura interna (partes e partículas) do átomo, as interações entre suas partículas, a distribuição dos elétrons em camadas eletrônicas, a estabilidade atômica.

Para verificar a aprendizagem alcançada pelos alunos, realizou uma avaliação identificando o nível de dificuldade de aprendizagem dos alunos. Quatro níveis foram descritos: Nível I – respostas em branco, Nível II – Respostas erradas e confusas, Nível III – Respostas corretas, mas com justificativas inadequadas e imprecisas, Nível IV- Respostas corretas e justificativas adequadas.

Os resultados de sua análise revelaram que as concepções dos alunos se encontram entre os níveis I e II, com ideia frequente de que o estado neutro equivale ao átomo possuir ou não cargas elétricas. Os alunos (13,3%) consideraram que não há cargas, ou seja, que a quantidade de prótons é igual a quantidade de elétrons e, dessa forma, não há cargas elétricas. No nível III, 48,3% dos alunos apresentaram concepções de que a estabilidade do átomo se deve a quantidade de prótons e elétrons que ele apresenta. No nível IV, 38,8% dos alunos sugerem ideias sobre a formação de íons, relacionadas a perda de elétrons.

Desta forma, os autores concluíram que os alunos confundem ter carga elétrica com estar carregado. Atribuem a neutralidade do átomo ao fato de os átomos estarem carregados simultaneamente (positivo e negativo). Confundiram a neutralidade elétrica de um átomo com a estabilidade eletrônica. Associam a estabilidade com a capacidade somente de o átomo ganhar elétrons.

Estes estudos mostraram as dificuldades dos alunos no entendimento dos conceitos sobre a estrutura atômica e a dificuldade da elaboração de modelos atômicos. Tais problemas também se estendem aos alunos universitários, cujos cursos exigem um grau mais elevado de abstração. Motivo pelo qual é importante se verificar as concepções dos alunos sobre estes conceitos estruturantes na química. É

preciso que o ensino invista em propostas que auxiliem a construção de conceitos de tão elevado grau de dificuldade.

A seguir, apresenta-se alguns estudos longitudinais que deram contribuições para essa pesquisa.

Para verificar o entendimento dos alunos a respeito das transformações químicas, Eskilsson e Helldén (2003) investigaram como os alunos de 10-12 anos utilizam modelos mentais quando falam, conversam sobre fenômenos envolvendo as transformações da matéria e como a interação com os pesquisadores influenciou na construção do modelo de partículas.

Os autores definiram dois níveis de compreensão para verificar como os estudantes usam seus conhecimentos. No primeiro nível, os pesquisadores elaboraram questões com base no que os alunos manifestavam. No segundo nível, os alunos manifestaram suas respostas de acordo com a questão elaborada pelos pesquisadores.

Participaram do estudo cinco classes de duas escolas diferentes. Os dados foram coletados por meio de quatro entrevistas com cada estudante. Depois de uma entrevista introdutória, foi realizada uma unidade instrucional de três aulas seguida de uma entrevista semiestruturada dois meses depois de cada intervalo. O estudo foi longitudinal e foram apresentados aos alunos fenômenos do dia a dia envolvendo ideias sobre a transformação da matéria.

Na primeira e na terceira entrevista, foram discutidas as mesmas situações, uma caixa selada com solo, a queima de papel ou de uma vela e o cheiro dos doces. Na segunda e na quarta entrevistas, outras situações foram discutidas, tais como: queima do petróleo, enferrujamento do ferro, chuva e raspas de magnésio em ácido cítrico. Todas as situações discutidas durante a entrevista foram exemplificadas ou foram realizados experimentos por demonstração. Assim, a queima do papel foi realizada durante a discussão.

As unidades instrucionais ou unidades de ensino foram trabalhadas no intervalo entre as entrevistas, algumas ideias chave foram apresentadas e os estudantes fizeram trabalho prático e discussões em grupo de 4 pessoas.

Na primeira unidade de ensino, o modelo básico de partícula foi introduzido. O modelo de partícula foi utilizado durante três unidades de ensino. Os modelos mentais foram se modificando durante as discussões entre pares e entre aluno e pesquisador. Nas entrevistas, o olhar se voltou para verificar como os estudantes usam seus

modelos mentais quando explicam novas situações. Nas entrevistas, também foram utilizadas as próprias ideias dos estudantes sobre as concepções de modelo de partícula da matéria e ainda foram discutidas situações que não haviam sido discutidas nas unidades de ensino.

As análises foram divididas em três aspectos: a natureza da partícula, o conceito de gases e o conceito de reações químicas. Sobre a natureza da matéria foram estabelecidas três categorias: reconhecendo a palavra molécula, usando a palavra molécula em explicações e falando de moléculas como partículas (aspecto A). Além disso, o uso da palavra molécula foi definida em outras categorias (aspecto B): (i) uso da palavra após a influência da questão, (ii) uso espontâneo no final da entrevista, mas antes da pergunta direcionadora, (iii) uso espontâneo no início da entrevista. O aspecto C foi considerado como o número de situações da entrevista em que o estudante usou o conceito de molécula.

A análise realizada acerca do conceito de reação química foi categorizada: a) descrição; b) uma nova substância é formada; c) interação entre substâncias; e d) o uso de seu modelo de partícula.

10 a 20% dos estudantes usam, em seu modelo molecular, a palavra molécula quando falam de reações químicas. Comparando explicações de estudantes na mesma situação ou situações similares entre duas entrevistas, foi constatado que muitos estudantes alcançaram maior grau de compreensão em suas explicações nas entrevistas finais. Também se verificou que os estudantes usaram suas experiências e as advindas das sequências de ensino para construir seu modelo mental, sobre a estrutura da matéria.

Outro estudo longitudinal foi apresentado por Löfgren e Helldén (2009), em um período compreendido entre 1997 e 2006, com o objetivo de analisar como o aluno usa o conceito de molécula em suas explicações no decorrer dos 10 anos de aprendizagem e ao final da escolaridade obrigatória. O estudo foi desenvolvido com 23 alunos de duas escolas tradicionais da Suécia, todos nascidos em 1990, e que participaram de uma sequência de entrevistas e intervenções.

As intervenções não foram elaboradas com o intuito de serem vistas como um programa estruturado a ser testado, mas a fim de possibilitar traçar um desenvolvimento do progresso das ideias sobre a natureza particular da matéria. As entrevistas semiestruturadas, com o intuito de investigar como os alunos mudam sua compreensão sobre as transformações da matéria, exploraram três situações

concretas: folhas caídas ao chão, desaparecimento da cera de uma vela acesa e aparecimento de névoa no interior da tampa de um copo de água.

Para a análise dos dados foram criadas quatro categorias:

- a) Construção de um modelo de molécula de acordo com a ideia científica da natureza corpuscular da matéria – os alunos utilizam ideias sobre moléculas em movimento constante, podendo ganhar ou perder energia e tornando o movimento mais rápido ou mais lento, podem, ainda, usar ideias sobre formação de novas moléculas por meio do rearranjo de átomos;
- b) Conceito de molécula utilizado de uma forma produtiva como uma pequena parte da substância – os alunos não usam a ideia de moléculas em movimento constante, ganhando e perdendo energia, pois o modelo com o aspecto de pequenez é rico o suficiente para explicar as situações;
- c) Fatos científicos utilizados de forma não produtiva em relação à situação descrita – o conceito é utilizado de forma espontânea durante a explicação das situações, mas o conhecimento não é utilizado de forma produtiva para descrever seus pontos de vista sobre as transformações;
- d) Qualquer distinção entre molécula e substância – a resposta é a mesma, independente se a pergunta é sobre o conceito ou sobre a situação.

As categorias foram elaboradas a partir das respostas dos alunos à última entrevista e a análise foi realizada partindo desta para as entrevistas iniciais, com o intuito de encontrar tendências e padrões entre o uso espontâneo do conceito de moléculas durante o ensino. Assim, os resultados indicaram que, ao final da trajetória escolar, menos de 1/5 dos alunos usam ideias moleculares a nível científico. Além disso, os autores concluíram que a maioria dos alunos não relaciona o conhecimento sobre a natureza particular da matéria com situações cotidianas, embora usem um modelo de partícula simples para ajudar a entender a invisibilidade do estado gasoso. Relataram, ainda, sobre a necessidade de estudos voltados a maneiras de desenvolver essas ideias científicas.

Øyehaug e Holt (2013) analisaram a evolução conceitual de quatro estudantes do ensino fundamental, a partir de idade 10-11 anos para 12-13 anos de uma escola rural na Noruega, sobre conceitos relacionados a estrutura da matéria e às reações químicas. O estudo durou dois anos, e os conceitos foram desenvolvidos em quatro períodos de instrução (5-6 dias). No 1º período (alunos de 10-11 anos), foram tratadas as propriedades da matéria; no 2º período (alunos de 11-12 anos), a fotossíntese, no

3º período (alunos de 12 anos), a energia e eletricidade; e no 4º período (alunos de 12-13 anos), as reações químicas, principalmente reações de combustão.

Os conceitos sobre a constituição da matéria e reações químicas foram revisitados e refinados durante os dois anos do estudo. Como estratégias didáticas, os alunos foram instruídos a pensar na existência dos materiais constituídos por partículas com utilização de modelos e animações, pesquisas científicas, discussões em grupos, dramatizações, escritas, desenhos, experimentos.

Para a coleta de dados, as autoras utilizaram gravações em vídeo de aulas e entrevistas e material escrito. As aulas e gravações foram transcritas e as concepções dos alunos foram categorizadas, codificadas e analisadas. As respostas dos alunos foram então classificadas em níveis de compreensão (nenhuma compreensão, alguma compreensão, boa compreensão, boa compreensão com mediação).

Os níveis de compreensão dos alunos foram acompanhados durante os dois anos. As autoras verificaram que a construção do conceito de transformação química exige muita reorganização e reestruturação de estruturas de conhecimento para ser elaborado. Verificaram que os quatro estudantes evoluíram na compreensão do conceito de transformação química a níveis mais sofisticados durante os dois anos. Apesar de mencionarem em suas explicações as ideias de moléculas envolvidas, alguns alunos não mostraram a capacidade de vincular as propriedades macroscópicas às ideias em nível submicroscópico. A concepção de movimento das partículas é presente nas concepções dos alunos, mas atreladas a ideias de pressão e temperatura. No entanto, os alunos não foram capazes de aplicar estas ideias em contextos diferentes. Segundo as autoras, quando os alunos aprendem sobre conceitos em nível submicroscópico nem sempre fazem uso destas concepções para explicarem suas próprias experiências do cotidiano.

De acordo com Rompayom e colaboradores (2011), um dos principais objetivos do ensino de ciências é ajudar os alunos a compreenderem os fenômenos naturais, os princípios científicos e as teorias que os descrevem. Entretanto, muitos fenômenos são de difícil compreensão e alguns dos princípios científicos utilizados para explicá-los são abstratos e complexos. A química trata de assuntos difíceis para os alunos do Ensino Médio e universitários, como o conceito de ligação química, abstrato e de difícil compreensão, e um conceito químico central.

Um dos motivos das dificuldades dos alunos na compreensão do conceito de ligação química deve-se ao fato de que esse conceito não tem relação com o cotidiano

dos alunos, ou seja, como não é possível visualizar átomos e suas interações, isso requer um nível de abstração grande o que pode gerar concepções alternativas. O conceito de forças intermoleculares também é de difícil compreensão e pode gerar concepções alternativas, como “ligações covalentes não são tão fortes como as ligações de hidrogênio”, “ligações covalentes são quebradas quando uma substância muda de estado”, “bolhas de água fervente assim como o vapor de água são compostas por gás hidrogênio, oxigênio e ar”. Os alunos também apresentam pouca compreensão sobre o conceito de forças inter e intramoleculares.

Dessa maneira, os pesquisadores investigaram a compreensão de sessenta e quatro alunos da 1ª série do Ensino Médio de uma escola pública localizada a 150 km de Bangkok sobre ligações químicas e forças inter e intramoleculares. Nesse estudo, os autores apresentam os resultados das questões abertas sobre forças inter e intramoleculares apenas.

As questões do teste foram sistematicamente organizadas com base nas ideias sobre o que todos os alunos deveriam aprender de forma a atingir a meta do currículo de ciência até a conclusão do Ensino Médio. O instrumento de coleta de dados para investigar as concepções dos alunos foi aplicado por meio de um questionário no formato “papel e lápis” e consistia em duas partes. A primeira parte requeria que os alunos elaborassem desenhos ou escolhessem uma única resposta à pergunta. Já na segunda parte, os alunos deveriam justificar as respostas fornecidas na primeira parte.

O instrumento foi validado por cinco especialistas, sendo dois professores universitários de química, dois professores do Ensino Médio de química e um de farmácia, e aplicado a 64 alunos tailandeses do Ensino Médio após o ensino de ligações químicas. O teste foi feito no período de aula regular.

Esperava-se que os alunos relacionassem modelos explicativos de objetos, eventos e processos de fenômenos naturais e elaborassem explicações dos eventos relacionados. O instrumento com questões abertas foi usado para revelar e distinguir as concepções dos alunos em completa, incompleta, concepções alternativas, nenhuma concepção e nenhuma resposta.

As respostas dos alunos foram analisadas baseando-se na coerência dos dados na primeira e segunda parte e classificadas em quatro categorias, apresentadas no quadro 3.

Quadro 3 – Classificação das respostas dos alunos.

Categoria	Tipo de resposta	
	1ª parte	2ª parte
Concepção completa	Alternativa correta	Explicação correta
Concepção incompleta	Alternativa correta	Explicação incorreta
Concepção alternativa	Alternativa correta	Explicação apresentou concepções alternativas
Sem concepção	Alternativa incorreta	Sem resposta
	Alternativa incorreta	Resposta sem sentido / outra
Sem resposta	Respostas em branco	

Assim, as respostas foram categorizadas como: **concepção completa** – o aluno forneceu uma resposta correta em ambas as partes; **concepção incompleta** – o aluno fornece uma resposta correta apenas na primeira parte, mas nenhuma resposta na segunda; **concepção alternativa** – a resposta do aluno apresenta concepções alternativas; **sem concepção** – a resposta dos alunos não tinha sentido ou nenhuma relação com a questão ou respostas do tipo “eu não sei”, “eu não tenho certeza” ou “eu não me lembro”; finalmente, **nenhuma resposta** – aluno que deixou a questão em branco.

A porcentagem de respostas dos alunos em cada categoria é apresentada na figura 5 (ROMPAYOM et al., 2011, p. 20, tradução nossa)

Figura 5 – Resultado em porcentagem da categorização das respostas dos alunos

Em geral, as questões de 1 a 3 requeriam que os alunos explicassem a composição da água e sua forma depois de uma mudança de estado usando um exemplo do cotidiano. Pode-se observar que o número de respostas classificadas como concepção completa diminui drasticamente, mas as das outras categorias aumenta.

Nas questões de 4 a 6, tratavam-se de perguntas mais desafiadoras e buscavam alcançar maior compreensão das forças inter e intramoleculares. Em comparação com

as questões de 1 a 3, a porcentagem de repostas de concepção completa em 4 a 6 foi muito baixa, enquanto que a porcentagem de concepção incompleta foi alta. A tendência das repostas do tipo concepção completa nas seis questões foi diminuindo gradativamente, ao passo que respostas do tipo concepção alternativa e sem concepção aumentou consideravelmente. Além disso, o número de respostas do tipo sem concepção e sem resposta foi alto. Uma possível razão para explicar a grande diferença de número de respostas do tipo concepção completa nas três primeiras questões e nas três últimas questões pode ser devido aos exemplos adotados. A água foi adotada para obter concepções dos alunos nas três primeiras perguntas, enquanto que amônia e metano foram usados nas três últimas. Os alunos parecem confortáveis em aplicar conceitos científicos quando a substância é conhecida, como água, mas eles podem não estar familiarizados com a amônia e metano e isso pode ter dificultado a aplicação de conceitos.

O estudo identificou que há um número considerável de alunos que apresentam concepções alternativas sobre forças inter e intramoleculares relacionadas com a mudança de estado físico. No geral, os alunos parecem confortáveis com a ideia de transformação em nível macroscópico, mas eles não parecem saber o que acontece com as moléculas dessas substâncias durante a mudança de estado físico em nível submicroscópico.

Por exemplo, os estudantes acreditavam que a molécula de água poderia se quebrar em um único átomo na mudança do estado líquido para o gasoso, ou seja, acreditavam que a água se transformava em gás hidrogênio e oxigênio quando mudava de estado.

Normalmente, a química é ensinada em três níveis: simbólico, macroscópico e submicroscópico (ROMPAYOM et al., 2011). Porém, os alunos não conseguem transitar entre os níveis macroscópico e submicroscópico como mostra essa pesquisa, ao identificar que os alunos perceberam facilmente a mudança de estado da água de líquido para gás quando ela está fervendo, mas eles não conseguiram explicar o que acontece com as moléculas de água em nível submicroscópico. Além disso, os resultados indicaram que os alunos não entendem claramente por que a temperatura de ebulição de duas substâncias como a amônia e o metano podem diferir devido às forças intermoleculares.

À luz dessa evidência, os autores sinalizam que parece haver a necessidade de se fazer algumas alterações no currículo de química em todos os níveis para facilitar

a compreensão dos alunos de conceitos como ligações química e forças inter e intramoleculares. Eles também apontam a necessidade de um maior tempo dedicado no ensino desses conceitos combinados com exercícios sobre os conceitos. Os autores enfatizam que as perguntas devem possibilitar a identificação dos modelos explicativos dos alunos, que podem fornecer um conjunto de dados para o professor e os próprios alunos para melhorar o processo de aprendizagem.

Além disso, a aplicação de um conjunto de questões conceituais alinhadas com os objetivos de aprendizagem pode fornecer informações úteis sobre as ideias dos alunos. Assim, os professores deveriam investigar as ideias dos alunos e possíveis concepções alternativas e considerá-las como chave para melhorar a aprendizagem dos alunos e torná-la mais significativa. Além disso, eles deveriam enfatizar as transições e relações dos níveis simbólico, macroscópico e microscópico de modo que os alunos desenvolvam seus próprios modelos explicativos sobre ligações nesses três níveis. É necessário que os estudantes de química tenham conhecimentos firmes nesses temas antes de se passar para conteúdo mais avançado.

Esta revisão bibliográfica foi importante pois trouxe várias contribuições para a construção da metodologia e análise de nossa pesquisa. A partir desses estudos, em nossa pesquisa, foi possível verificar as concepções alternativas dos alunos que se mostraram semelhantes às identificadas na literatura e, portanto, corroboraram para as análises. Apesar de a literatura apresentar expressiva quantidade de estudos investigando as concepções alternativas, poucos são os estudos longitudinais que exploram um campo conceitual necessário para o aprendizado da estrutura da matéria. Além disso, por meio dessa revisão, foi possível a construção dos instrumentos de análise e elaboração de critérios que possibilitaram verificar o desenvolvimento dos modelos explicativos dos alunos ao longo do Ensino Médio. Os estudos de Benarroch (2000; 2001) e de Øyehaug e Holt (2013) serviram de inspiração para elaborar os instrumentos de análise – níveis de adequação, compreensão e explicativos.

4 Metodologia da Pesquisa

Esta pesquisa de natureza qualitativa teve como objetivo investigar, por meio de entrevistas e questionários, o desenvolvimento dos modelos explicativos manifestados por alunos ao longo do Ensino Médio ao elaborarem explicações em nível submicroscópico para um conjunto de fenômenos do cotidiano, utilizando a estrutura particular da matéria. Para esta finalidade foram acompanhadas algumas aulas e alguns alunos por três anos durante o processo de ensino-aprendizagem. Portanto, o estudo foi caracterizado como longitudinal (LÖFGREN; HELLDÉN, 2009), fazendo do pesquisador o instrumento principal, com sua imersão, levando-o a observar, refletir, interpretar e elucidar as questões de forma interativa no contexto da pesquisa (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

4.1 Público Alvo

A coleta de dados foi feita em uma escola de ensino básico da rede pública do Estado de São Paulo, situada na região central de Santo André, intitulada como **escola A** para assegurar o anonimato da instituição. Essa escola foi selecionada para a pesquisa devido a alguns fatores: interesse da instituição na proposta da pesquisa; experiência da professora de química em pesquisas na área de ensino e por orientar alunos do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência da Universidade Federal do ABC; e sua preocupação com um ensino de melhor qualidade. Além disso, a escola A concordou com o acompanhamento do processo de aprendizagem dos alunos por três anos.

A pesquisa contou inicialmente com a participação de 91 alunos de três séries do Ensino Médio, com idades entre 15 e 18 anos, sendo 32 alunos da 1ª série, 27 da 2ª série e 32 da 3ª série. Um grupo de 10 alunos da 1ª série foi selecionado para ser acompanhado ao longo do Ensino Médio, entretanto alguns mudaram de escola ou período, ao longo dos anos, por isso não participaram de todas as etapas da pesquisa. Realizou-se entrevistas individuais com esses alunos, com a finalidade de investigar como os seus modelos explicativos se desenvolviam ao longo do processo de

aprendizagem ao usarem ideias em nível submicroscópico acerca da estrutura da matéria. Ao final desse estudo, temos, na seção Análise dos Dados, o acompanhamento realizado com quatro alunos.

4.2 Coleta de Dados

Os dados foram coletados por meio dos seguintes instrumentos: questionários e entrevistas com alunos, gravação em áudio das aulas, notas de campo e entrevista com a professora. A coleta de dados teve início em fevereiro de 2012 e terminou em agosto de 2014. Foi realizada em três momentos – antes, durante e após o processo de ensino. Essa coleta de dados foi caracterizada em cinco períodos conforme apresentado no quadro 4. Cada período será detalhado posteriormente. As aulas e as entrevistas realizadas com os alunos foram gravadas em áudio, com autorização da direção e da professora de química, de acordo com termo de consentimento (Anexo A).

Quadro 4 - Instrumentos utilizados para coleta de dados e datas de realização

Períodos	Data	Instrumentos	Público Alvo
Acompanhamento das aulas (Durante o ensino)	Fevereiro 2012 a abril de 2014	Gravação em áudio das aulas e notas de campo	Turma da 1ª série (2012 à 2014), 2ª série (2012-2013), 3ª série (2012)
1º Período (Antes do ensino)	Fevereiro/2012	Pré-teste e entrevista	Professora de química (entrevista) e alunos da 1ª a 3ª série (pré-teste)
2º Período	Junho/2012	1ª entrevista	Dez alunos selecionados para acompanhamento ao longo do Ensino Médio
	Outubro/2012	2ª entrevista	
3º Período	Abril/2013	3ª entrevista	
	Outubro/2013	4ª entrevista	
4º Período	Março/2014	5ª entrevista	
5º Período (Após o ensino)	Agosto/2014	Pós-teste	

4.2.1 Caracterização dos Períodos de Coleta de Dados

Para a coleta inicial dos dados foi elaborado, com base em outros estudos realizados nessa área (ADADAN, 2012; ADADAN; TRUNDLE; IRVING, 2010; BENARROCH, 2000; 2001; MORTIMER, 2000; TALANQUER, 2009), um instrumento

(piloto) que se tratou de um questionário. A finalidade do instrumento era a de investigar as concepções prévias dos alunos sobre alguns aspectos da matéria e sua estrutura, além da utilização dessas ideias na explicação de fenômenos do cotidiano por meio escrito, desenhos ou esquemas, tais como: crenças relativas à natureza, estrutura ao nível atômico molecular, ideias a respeito da existência de movimento e espaços vazios entre as partículas, natureza elétrica incluindo forças eletrostáticas intra e interpartículas.

As questões propostas no instrumento foram inicialmente apresentadas e discutidas com os integrantes do grupo GEPEQ-IQUSP, sofrendo adequações, e foram aplicadas em 2011 como teste piloto a 99 alunos do Ensino Médio, 1ª série (36 alunos), 2ª série (31 alunos), 3ª série (32 alunos) de três escolas da rede pública e de duas escolas da rede particular de ensino, para a validação do instrumento. Percebeu-se, nessa aplicação, que os alunos apresentaram explicações sem a utilização de conceitos em nível submicroscópico. Por isso, foram necessárias adequações, solicitando, por exemplo, justificativas e explicações ao nível atômico molecular. A reformulação e adequação das questões culminaram no Instrumento 1 (pré-teste), apresentado no apêndice B. Este instrumento de coleta de dados foi aplicado a 91 alunos, sujeitos desta pesquisa, no início de 2012, denominado aqui de 1º período da investigação. As questões foram respondidas pelos alunos durante uma aula de química, na presença da professora e sob a orientação da pesquisadora. Embora tenha sido um instrumento extenso, eles responderam às questões individualmente, em silêncio e de forma consciente. A presença da pesquisadora aparentemente favoreceu um clima de respeito e colaboração.

O propósito de se aplicar o Instrumento 1 (pré-teste) nas três séries foi o de traçar um panorama geral das ideias dos alunos acerca da estrutura da matéria em cada uma delas e verificar como as utilizavam na explicação de situações e fenômenos do cotidiano. Segundo Adadan (2012) e Adadan, Trundle e Irving (2010), o ensino de modelos e as competências dos alunos no desenvolvimento de um pensamento lógico formal para a construção e compreensão de ideias abstratas são provavelmente estabelecidos nessas séries, o que é de interesse para este estudo.

O Instrumento 1 (pré-teste) foi importante por nortear o encaminhamento de outras coletas (entrevistas) e análises. No quadro 5, são apresentados os objetivos de cada questão do Instrumento 1 (pré-teste).

Quadro 5 - Objetivos e exigências das questões do Instrumento 1 (pré-teste).

Questão	Objetivo	Exigências cognitivas
1	Reconhecer a concepção dos alunos em relação ao fato de a matéria ser constituída por átomos e se em suas justificativas surgem considerações de ideias decorrentes de um modelo racional.	Apropriação de um modelo para a representação de entidades submicroscópicas de modo a ligá-las ao mundo macroscópico. Um modelo que justifique o entendimento das propriedades, estrutura e comportamento da matéria.
2	Verificar se o aluno reconhece as partes do átomo (núcleo e eletrosfera) e as partículas fundamentais (prótons, elétrons e nêutrons).	Reconhecer o átomo como parte estrutural da matéria, cujos modelos propostos são decorrentes da evolução de ideias associadas ao contexto de cada época. Reconhecer alguns aspectos sobre a estrutura dos átomos e sua natureza elétrica.
3 e 4	Verificar se o aluno aplica ideias relacionadas a forças intermoleculares para justificar o comportamento e propriedades como: temperatura de ebulição, temperatura de fusão, densidade de algumas misturas de substâncias.	Pensar em forças intermoleculares e relacioná-las à estrutura do átomo, considerando as forças eletrostáticas, interações atômicas, polaridade das ligações associadas ao comportamento e propriedades das misturas de substâncias.
5	Verificar se o aluno compreende a possibilidade de um átomo “ganhar ou perder” elétrons.	Noções sobre o fato de as partículas subatômicas apresentarem cargas elétricas e a ideia de que há entre as partículas forças de atração e repulsão, com modificações na eletrosfera do átomo. Visão sobre as interações entre os átomos, formação de íons e moléculas.
6	Verificar se o aluno utiliza o modelo atômico, considerando a importância de um átomo “ganhar ou perder” elétrons para justificar uma transformação química.	Reconhecer uma transformação química considerando o conceito de ligações químicas e em um modelo explicativo relacionado a forças de atração e repulsão entre elétrons e núcleos dos elementos constituintes das substâncias.
7	Verificar se o aluno reconhece o núcleo do átomo como uma região em que se encontram as partículas: prótons e nêutrons.	Entender que os átomos são formados pelo núcleo e eletrosfera com partículas neutras e eletricamente carregadas.
8	Verificar se o aluno apresenta a noção de que entre as partículas (átomos, moléculas), constituintes de uma substância, há espaços vazios e que entre elas não existe nada.	Reconhecer a ideia do vazio para a compreensão de um conjunto de características que levam a explicar os diferentes estados físicos da matéria.
9	Verificar se o aluno apresenta a noção de que as partículas que constituem a matéria (átomos, moléculas) são dotadas de movimento.	Entender que as partículas constituintes de um material não são estáticas, mas estão em constante movimento.
10	Verificar se o aluno justifica a condutibilidade elétrica em uma solução aquosa por meio da movimentação de elétrons e íons.	Utilizar o conceito de íon na compreensão da natureza elétrica da matéria, na condutibilidade e propriedades dos materiais (isolantes e condutores). Compreender que existem cargas elétricas em movimento em um sistema aquoso.
11	Verificar se o aluno reconhece em uma transformação química alguns fatores (temperatura, choques entre partículas) interferem em sua rapidez, considerando explicações ao nível atômico molecular.	Pensar nos fatores que interferem na rapidez de uma transformação química ligada a utilização do modelo cinético molecular.
12	Verificar se o aluno reconhece que em uma transformação química ocorre a quebra e formação de ligações para a formação de novas substâncias, considerando um rearranjo entre átomos que constituem as substâncias que reagem.	Compreender as transformações químicas considerando a quebra e formação de ligações.

Antes do acompanhamento das aulas, uma entrevista semiestruturada foi realizada com a professora de química para conhecer sua formação e caracterizar o seu ensino, bem como verificar em que momento ela tratava dos conceitos em nível submicroscópico. Os objetivos da entrevista estão descritos no quadro 6.

Quadro 6 - Objetivos da entrevista com a professora de química.

Conteúdo da entrevista	Objetivo e importância
Perfil da professora	Verificar sua formação acadêmica, sua motivação pela carreira de magistério no ensino de química e tempo de experiência.
Tendências do ensino	Verificar quais as características do ensino da professora, se ela apresenta um ensino com tendências tradicionais ou construtivistas. Conhecer sua visão sobre o ensino e a aprendizagem.
Ensino de conceitos sobre a estrutura da matéria	Verificar quais os conceitos em nível submicroscópico a professora aborda em seu ensino, em que época e a importância dada ao desenvolver esses conceitos. Essa informação poderia auxiliar no acompanhamento das aulas, na coleta de dados, principalmente quando os conceitos em nível submicroscópico, interesse da pesquisa, fossem desenvolvidos.
Dificuldades no ensino	Verificar quais as dificuldades que a professora julga ter no ensino de conceitos em nível submicroscópico.
Aplicação de conceitos em nível submicroscópico às situações do cotidiano	Verificar se a professora possibilita que o aluno faça conexões entre os conceitos interpretando os fenômenos do cotidiano.
Estratégias de ensino utilizadas	Verificar quais as estratégias de ensino utilizadas pela professora na construção de conceitos abstratos.

A pesquisadora deste trabalho acompanhou o processo de ensino e aprendizagem desde o início de 2012 até abril de 2014, assistindo duas aulas semanalmente em cada uma das turmas, principalmente, quando eram tratados conceitos em nível submicroscópico de interesse da pesquisa.

Além de gravar as aulas em áudio, semanalmente, a autora deste trabalho transcreveu o conteúdo das principais ideias surgidas nas aulas que poderiam auxiliar nas análises e realizou suas notas de campo. As aulas foram gravadas na íntegra e com descrição, para não intimidar a participação dos alunos e coletar suas falas e as da professora com a máxima fidedignidade. Tanto a professora quanto os alunos se mostraram à vontade com o gravador e a presença da pesquisadora. Solicitou-se uma autorização aos pais dos alunos (apêndice A), para permitirem o uso da gravação e do material produzido pelos estudantes nessa pesquisa, obtendo-se o aceite deles.

Além disso, foram selecionados dez alunos que cursavam a 1ª série em 2012, para acompanhamento individual durante os três anos do Ensino Médio. Eles participaram de entrevistas semiestruturadas durante todo o processo de ensino (2º ao 4º período), descrito no quadro 4 (p. 72). Os alunos selecionados foram indicados pela professora de acordo com alguns critérios: participação de forma ativa nas aulas,

perguntando, discutindo, explicitando suas ideias e demonstrando interesse; assiduidade; e bom aproveitamento em avaliações.

Optou-se por realizar entrevistas semiestruturadas, utilizando, como estratégia auxiliadora, alguns experimentos demonstrativos. Estes experimentos poderiam ajudar o aluno a refletir sobre alguns conceitos que exigiriam elevado grau de abstração, tais como a movimentação e perda de elétrons, a solubilidade do cloreto de sódio em água com formação de íons, entre outros.

As questões para as entrevistas foram elaboradas e discutidas entre a pesquisadora e sua orientadora, com base nos objetivos do Instrumento 1. A principal finalidade das questões foi incentivar os alunos na elaboração de explicações em nível submicroscópico sobre a estrutura da matéria, verbalizando o que pensavam e dando oportunidades para refletirem a respeito dessas ideias (ROSA; ARNOLDI, 2006). Do ponto de vista da pesquisadora, isso foi importante, pois por meio das entrevistas foi possível conhecer as ideias expressas pelos alunos e perceber a ocorrência ou não de uma evolução em seus modelos explicativos ao interpretar fenômenos ou situações cotidianas, enquanto os conceitos em nível submicroscópico eram tratados no ensino.

Na entrevista, utilizou-se uma linguagem informal para que as questões se tornassem mais acessíveis à compreensão do aluno, envolvendo-o na situação proposta. Dessa forma, um roteiro foi elaborado, para cada entrevista, em cada período (apêndice F), tomando-se o cuidado de manter sua flexibilidade e dinâmica a fim de permitir ao entrevistador articular as questões planejadas com as explicações apresentadas pelo aluno, aproveitando ideias que surgissem principalmente as que explicitassem considerações em nível submicroscópico. No quadro 7, são apresentados os objetivos pretendidos nas respectivas entrevistas para que os alunos manifestassem suas ideias sobre alguns tópicos relacionados à estrutura da matéria.

Em 2014, os alunos que em 2012 cursavam a 1ª série responderam novamente ao questionário inicial Instrumento 1 (pré-teste), denominado agora de pós-teste (5º período). A comparação dos resultados do pré-teste e pós-teste teve por objetivo verificar se houve desenvolvimento em seus modelos explicativos desde o início até o fim do Ensino Médio. Também foram comparadas as concepções desses alunos com as ideias mais recorrentes apresentadas pelos alunos das três séries, o que contribuiu para a compreensão do desenvolvimento desses modelos, possibilitando a identificação de possíveis aproximações ou distanciamentos nessas explicações.

Quadro 7 - Descrição dos objetivos das questões da entrevista (apêndice F).

Objetivo	Entrevista/Questão
Reconhecimento de conceitos Verificar quais os conceitos de química o aluno recorda ter estudado, a importância por ele atribuída ao conceito e como o utiliza para explicar fenômenos do seu dia a dia, principalmente ao expressar concepções em nível submicroscópico da matéria.	1ª / 1
A natureza da matéria Verificar se o aluno entende o conceito de estrutura da matéria e se percebe a importância deste conhecimento para explicar o comportamento dos materiais em termos de átomos e moléculas. Verificar a crença do aluno sobre a matéria ser formada por átomos. Verificar se o aluno apresenta algum modelo ao pensar em átomos. Verificar se o aluno considera ideias de movimento e vazio entre as partículas do átomo e das substâncias formadas por eles. Verificar se o aluno diferencia um material natural de um artificial. Perceber o modelo que o aluno apresenta, quando pensa no que possa existir entre as partículas que compõem os materiais.	1ª / 2 e 4 3ª / 1, 2 e 6 4ª / 1 e 2
Representação pictórica da matéria Verificar a visão do aluno (em nível macroscópico ou submicroscópico) quando ele representa por meio de desenhos uma mistura considerando a ideia da natureza particular da matéria.	1ª / 3 3ª / 1 4ª / 4
Transformação química Verificar o que o aluno pensa a respeito de uma transformação química e se a diferencia de mudança de estado físico. Verificar se existe nas concepções do aluno a ideia de quebra e formação de ligações em uma transformação química e o envolvimento de energia. Verificar se o aluno reconhece em uma transformação química a conservação de átomos e se a relacionam com a conservação da massa.	1ª / 5, 6 e 7 2ª / 1 e 2 3ª / 6 4ª / 5 e 8 5ª / 4, 5 e 9
Natureza elétrica da matéria Verificar se o aluno compreende a possibilidade de um átomo “ganhar ou perder” elétrons, gerando íons. Verificar se o aluno justifica a condutibilidade elétrica em solução aquosa por meio da movimentação de elétrons pelos fios e íons pela solução. Verificar se o aluno justifica a condutibilidade elétrica e a reatividade de materiais relacionando com a estrutura atômica e a existência e a movimentação de elétrons.	1ª / 5 2ª / 6 e 8 3ª / 3 e 4 4ª / 3 e 4 5ª / 3, 4, 5 e 6
Interações intra e intermoleculares Verificar o que os alunos pensam sobre as interações entre as partículas constituintes de um material. Se ocorrem ideias da existência de forças eletrostáticas relacionadas ao comportamento e propriedades dos materiais. Verificar como os alunos pensam a respeito destas partículas constituintes dos materiais.	1ª / 8 2ª / 4, 5 e 7 3ª / 4, 5 e 7 4ª / 4, 6 e 7 5ª / 3, 7 e 8
Linguagem da química Verificar se o aluno apresenta um modelo para representar moléculas e entende o significado de fórmulas e equações representativas de reações.	2ª / 2 e 3 5ª / 3

4.3 Métodos da Análise dos Dados

Em cada etapa da pesquisa, buscou-se acompanhar os modelos explicativos que os alunos apresentavam e verificar como foram se modificando no processo de aprendizagem. Para a análise das concepções dos alunos no pré-teste, foram elaboradas três dimensões de análise com suas categorias e também um instrumento para avaliar o nível de adequação das explicações nessas dimensões e categorias.

Inicialmente, foram lidas as respostas apresentadas pelos 91 alunos ao Instrumento 1 (pré-teste). Ter esta visão geral das ideias da turma toda acerca da estrutura da matéria, em cada uma das séries, foi importante para identificar as explicações mais recorrentes, o que posteriormente poderia contribuir para a melhor compreensão dos modelos explicativos dos alunos entrevistados. Assim, após sucessivas leituras das respostas dos alunos ao Instrumento 1, percebeu-se que as questões mantinham estreita relação com seus objetivos e resolveu-se agrupá-las, o que culminou na elaboração de três dimensões de análise⁷:

✓ **1ª dimensão: Natureza da Matéria**

A primeira dimensão diz respeito às explicações dos alunos que envolvem a natureza descontínua da matéria com o reconhecimento de que ela é formada por átomos. Fizeram parte dessa dimensão ideias decorrentes de um modelo aceito cientificamente, no qual as partículas estão em contínuo movimento, não existindo absolutamente nada entre as mesmas, implicando na ideia de vazio.

✓ **2ª dimensão: Natureza Elétrica da Matéria**

A segunda dimensão considera as explicações dos alunos que envolvem a natureza elétrica da matéria, tais como, cargas elétricas em átomo neutro e íon, e condutibilidade elétrica, atentando para formação de íons e movimento de elétrons.

⁷ Dimensão de análise será entendida nesta pesquisa como os elementos constitutivos que mostram os principais aspectos das explicações dos alunos para conceitos sobre: Natureza da matéria, Natureza elétrica da matéria e Interações Eletrostáticas Intra e Interpartículas.

✓ **3ª dimensão: Interações Eletrostáticas Intra e Interpartículas**

A terceira dimensão envolve as explicações dos alunos que abarcam interações intra e interpartículas, considerando a existência de forças eletrostáticas para justificarem o comportamento e as propriedades da matéria.

Para facilitar a apresentação das questões no Instrumento 1 (pré-teste) (apêndice B) de acordo com as dimensões de análise, elas foram renumeradas e agrupadas por dimensão. No quadro 8, apresenta-se a correspondência das questões renumeradas e originais desse instrumento. Assim, a apresentação dos dados e das análises é baseada nessa nova numeração e agrupamento.

Quadro 8 – Correspondência das questões renumeradas com as questões originais.

Novo agrupamento Questões do Instrumento 1	1ª Dimensão					2ª Dimensão					3ª Dimensão		
Questões renumeradas e agrupadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12
Numeração original	1	2	8	9	7	5	6	10	11 (anulada)		12	3	4

As categorias de análise em cada dimensão foram construídas levando-se em conta as explicações apresentadas pelos alunos para cada questão.

Para auxiliar na classificação das respostas dos alunos, foi solicitado a especialistas, em sua maioria professores com experiência no ensino de Química Geral e pesquisadores em Química, que respondessem às questões do Instrumento 1 (pré-teste). Estes especialistas consideraram o tipo de explicação que um aluno do Ensino Médio poderia manifestar e que fosse adequado do ponto de vista científico. Responderam ao questionário oito professores (três professores da Universidade de São Paulo; quatro da Universidade Estadual de Londrina e um da Universidade Federal de Lavras). A partir das respostas desses professores, anulou-se a questão inicialmente numerada como 11, pois, segundo eles, essa questão poderia gerar dúvidas devido à falta de informações julgadas necessárias para a resposta.

Nos quadros 9, 10 e 11, são mostrados para cada dimensão de análise, respectivamente, os argumentos dos professores pesquisadores e os critérios usados para classificar as explicações dos alunos nas categorias de análise.

Quadro 9 – Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias da 1ª dimensão de análise.

1ª dimensão de análise: Natureza da Matéria		
Explicações dadas pelos alunos às questões de 1 a 5 sobre a natureza descontínua da matéria, formada por átomos, com partículas em contínuo movimento e a ideia de vazio.		
Categoria	Descrição das características da explicação na categoria	Visão dos professores pesquisadores (Argumentos considerados coerentes se presentes nas respostas dos alunos de ensino médio)
A Ideias sobre o átomo	A1 – Matéria formada por entidades submicroscópicas Explicações que denotam a ideia de a matéria ser formada por entidades submicroscópicas (átomos, partículas, moléculas etc., termos usados nas justificativas apresentadas pelos alunos), ocorrendo de maneira coerente com os modelos aceitos cientificamente ou incoerentes, com erros conceituais, uso informal da linguagem da química e presença de concepções alternativas.	Questão 1 A matéria é formada por átomos, existem evidências científicas coerentes com as teorias adotadas. O termo átomo vem sendo utilizado desde a Grécia Antiga e foram formuladas muitas outras hipóteses em sequência cronológica que utilizaram esse termo. O importante não é decidir se átomos existem ou não, mas sim pensar no átomo como um modelo para justificar a existência da matéria. Modelo que possibilita entender, por exemplo, as propriedades das substâncias simples, como metais e sua estrutura, as cores das substâncias, os espectros de absorção, os estados excitados dos elétrons.
	A2 – Explicações genéricas Ideias sobre a matéria ser formada por átomos, no entanto, os alunos não empregam essa palavra em suas explicações e justificam com base em estudos científicos, escolares ou com concepções do tipo: “é assim porque é”. Não justificam ou não recorrem a componentes cientificamente aceitos em suas justificativas.	
	A3 – Não crê no átomo Alunos que dizem não acreditar no fato de a matéria ser formada por átomos.	
B Modelo representativo para o átomo	B1 – Escolha do modelo de Rutherford	Questão 2 Modelo A – “Pudim de Passas”, átomo como uma esfera carregada positivamente com cargas elétricas negativas (elétrons) distribuídas pela esfera. Modelo B – “Modelo Planetário”, átomo com parte central denominada de núcleo delimitado por uma órbita (eletrosfera) na qual se encontram os elétrons. Modelo C – “Modelo de Bohr”, átomo com uma órbita em que se encontram elétrons e parte central designada de núcleo. Não se pode determinar com precisão a posição do elétron e ele não descreve uma órbita em torno do núcleo. Há uma região em torno do núcleo onde a probabilidade de encontrar o elétron é maior, denominada pelos químicos como “orbital”.
	B2 – Escolha do modelo de Thomson	
	B3 – Escolha do modelo de Bohr	
	B4 – Escolha de mais de um tipo de modelo para átomo	

(Continua)

1ª dimensão de análise: Natureza da Matéria		
Explicações dadas pelos alunos às questões de 1 a 5 sobre a natureza descontínua da matéria, formada por átomos, com partículas em contínuo movimento e a ideia de vazio.		
Categoria	Descrição das características da explicação na categoria	Visão dos professores pesquisadores (Argumentos considerados coerentes se presentes nas respostas dos alunos de ensino médio)
C Reconhecimento do núcleo do átomo	C1 – Indicação correta do núcleo atômico	Questão 2 e 5 O núcleo atômico é descrito como um grupo de prótons e nêutrons juntos. A descrição deste modelo resulta das experiências de Rutherford, empregando bombardeio de uma amostra de ouro por partículas alfa e através da análise estatística dos desvios das partículas. Este é um modelo simplificado. Sabe-se que o modelo atômico tem se refinado com a descoberta de novas partículas subatômicas.
	C2 – Não indicação ou indicação incorreta do núcleo do átomo	
D Reconhecimento da eletrosfera e do elétron	D1 – Indicação correta ou incorreta do elétron e da eletrosfera	Questão 3 No <u>sistema contendo água</u> , aparecem unidades denominadas moléculas, a explicação B parece justificar adequadamente. No <u>sistema contendo gás hélio</u> , não ocorrem moléculas e considerando ser o átomo de hélio uma unidade fundamental finita, a explicação B, parece ser mais adequada. Para o caso do <u>fio de cobre</u> , um metal, no qual os átomos são organizados de acordo com determinados retículos cristalinos, ficam espaços vazios. Nas situações 1 e 2 (água e gás hélio), têm-se, respectivamente, um líquido e um gás. Nesses estados, as partículas encontram-se mais “separadas” umas das outras especialmente no gás, no qual os espaços vazios entre as partículas são muito maiores que as mesmas. No caso do sólido (fio de cobre), pode-se considerar que as partículas estão mais próximas.
	D2 – Não indicação do elétron e da eletrosfera	
E Espaços vazios entre as partículas	E – Reconhecimento da existência ou não de espaços vazios entre as partículas que compõem os sistemas materiais	
F Movimento entre as partículas	F – Consideração da existência ou não de movimento das partículas.	Questão 4 As partículas sempre se encontram em movimento, mesmo em estados de menor energia, como sólidos, e em situações de baixa temperatura. No caso da água, as partículas se movem em virtude do movimento browniano e, para o sistema contendo gás, as partículas de gás se movem em virtude de sua energia cinética. No caso do fio de cobre, as partículas movem-se (sobretudo os elétrons) devido aos elétrons livres.

Quadro 10 – Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias da 2ª dimensão de análise.

2ª dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria		
Explicações dos alunos às questões de 6 a 8 sobre a formação de íons com perda e ganho de elétrons pelo átomo, condutibilidade elétrica gerada por íons e movimento de elétrons.		
Categoria	Descrição das características da explicação na categoria	Visão dos professores pesquisadores (Argumentos considerados coerentes se presentes nas respostas dos alunos de ensino médio)
G Perda de elétrons pelo átomo (Explicações em nível submicroscópico)	G1 – Indicação correta de uma situação	<p align="center">Questão 6</p> <p><u>Situação b:</u> A formação da ferrugem é um processo de oxidação do ferro. O átomo de ferro perde elétrons, ou seja, envolve a transferência de elétrons da espécie química Fe (metálico) para a espécie oxigênio, dada a sua maior afinidade eletrônica. Perdendo elétron o átomo neutro se transforma em um íon carregado positivamente, um cátion.</p> <p><u>Situação d:</u> Os raios na atmosfera são formados por partículas de cargas opostas, ânions e cátions, consequentemente o cátion é um átomo que perdeu elétrons.</p> <p><u>Situação e:</u> Quando se atrita a caneta são “arrancados” elétrons da mesma, por eletrização, com isso ela adquire carga positiva. Assim a caneta eletrizada positivamente, atrai os elétrons do material (papel picado). O processo de eletrização de um objeto envolve unicamente perda ou ganho de elétrons, já que os prótons não podem ser arrancados porque estão presos no núcleo atômico.</p>
	G2 – Não indicação ou indicação incorreta da situação	
I Perda de elétrons pelo átomo (Explicações em nível macroscópico)	I1 – Indicação correta da situação	<p align="center">Questão 7</p> <p>Os átomos de prata, na superfície da “correntinha”, se combinam com as moléculas de oxigênio (ou outras substâncias) existentes no ar atmosférico. Essa combinação fez com que os átomos de prata percam elétrons para as outras moléculas, transformando-se em íons de prata. Os íons de prata têm propriedades químicas diferentes dos átomos (neutros) de prata. Por isso observou-se a mudança de cor, formando, por exemplo, Ag_2O ou Ag_2S, que é uma evidência de que a reação química ocorreu.</p> <p align="center">Questão 8</p> <p>Em solução aquosa, o sal se dissocia, isto é, os íons positivos e negativos que o constituem se separam. Devido à diferença de potencial elétrico aplicada pelo gerador os íons positivos tendem a migrar para o eletrodo negativo, e vice-versa. O fluxo de íons em solução “fecha o circuito elétrico” e por isso a lâmpada acende. No caso do açúcar, este não forma íons em solução aquosa. Por isso, a quantidade de íons na solução é muito pequena, não permitindo a passagem de corrente suficiente para acender a lâmpada.</p>
	I2 – Não indicação ou indicação incorreta da situação	
H Explicação de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria (Explicações em nível submicroscópico)	H1 – Explicações que envolvem ideias sobre a transformação química, na qual ocorre perda de elétrons em uma situação cotidiana.	
	H2 – Explicações que envolvem ideias sobre a movimentação dos elétrons para explicar uma situação cotidiana.	
J Explicação de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. (Explicações em nível macroscópico)	J1 – Explicações que envolvem ideias sobre a transformação química que ocorre com perda de elétrons em uma situação cotidiana.	
	J2 – Explicações que envolvem ideias sobre a movimentação dos elétrons para explicar uma situação cotidiana.	

Quadro 11 – Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias da 3ª dimensão de análise.

3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas		
Explicações dos alunos às questões 10 a 12 sobre a existência de forças eletrostáticas para justificar o comportamento e as propriedades da matéria.		
Categoria	Descrição das características da explicação na categoria	Visão dos professores pesquisadores (Argumentos considerados coerentes se presentes nas respostas dos alunos de ensino médio)
K Interação entre átomos (Rearranjo de átomos em uma transformação química)	K1 – Indicação de uma explicação correta K2 – Indicação de uma explicação incorreta	Questão 10 Em uma transformação química as ligações existentes entre os átomos que constituem as substâncias reagentes, são desfeitas e novas ligações químicas se formam, dando origem a substâncias diferentes das iniciais. Porém os átomos permanecem os mesmos em um novo rearranjo
L Aumento do volume da água (Explicações em nível submicroscópico)	L – Explicações sobre o aumento do volume da água no estado sólido.	Questão 11 A água, em virtude das interações intermoleculares do tipo ligações de hidrogênio, apresenta uma estrutura mais organizada no estado líquido do que outros líquidos convencionais. Esta estrutura permite que o número de moléculas de água por unidade de volume seja maior no estado líquido do que no estado sólido, isto é, a densidade do líquido passa a ser maior do que a densidade do sólido. As moléculas de água no estado líquido apresentam uma estrutura menos compacta do que as moléculas de água no estado sólido.
M Volatilidade do álcool (Explicações em nível submicroscópico)	M – Explicações sobre a volatilidade do álcool em relação a da água.	Questão 12 No caso da água líquida e do álcool, suas moléculas interagem por ligações de hidrogênio. Entretanto, esta rede de interações intermoleculares deve ser mais efetiva para a água do que para o etanol, o que exigirá mais energia para separar suas moléculas e, assim, passarem ao estado de vapor, consequentemente a temperatura de ebulição do álcool será menor em relação à da água.
N Aumento do volume da água (Explicações em nível macroscópico)	N – Explicações sobre o aumento do volume da água no estado sólido.	Questão 11 A água quando solidifica apresenta um aumento de volume. No estado sólido, o volume da água aumenta e a densidade diminui em relação à água líquida.
O Volatilidade do álcool (Explicações em nível macroscópico)	O – Explicações sobre a volatilidade do álcool em relação a da água.	Questão 12 A volatilidade do álcool é menor do que a da água devido à temperatura de ebulição ser menor em relação à da água.

Considerando as respostas dos especialistas para cada questão do Instrumento 1 (pré-teste) e os principais argumentos por eles apresentados, suas ideias foram agrupadas e serviram de parâmetros para auxiliar na elaboração de níveis de adequação, o que possibilitou a avaliação das respostas dos alunos, nas categorias, conforme sua adequação.

Como nas 2ª e 3ª dimensões as explicações dadas pelos alunos envolveram tanto o nível submicroscópico quanto o macroscópico, definiu-se o que seria

considerada uma explicação em termos desses níveis e também foram elaborados critérios para avaliar o nível de adequação dessas explicações.

✓ ***Explicações em nível submicroscópico***

Neste nível, são consideradas as respostas dos alunos que envolvem ideias sobre entidades submicroscópicas, tais como: átomos, moléculas, partículas, íons etc.

✓ ***Explicações em nível macroscópico***

Neste nível, são consideradas respostas dos alunos que envolvem ideias com base nas percepções do mundo real. Explicações com foco nos aspectos observáveis e mensuráveis.

O nível de adequação das explicações dos alunos é outro fator importante nesta pesquisa. Conhecê-lo é um aspecto relevante para caracterizar os modelos explicativos dos alunos, possibilitando identificar e compreender como articulam suas ideias, tanto para o conjunto das explicações mais recorrentes entre as séries, quanto individualmente no processo de aprendizagem durante o estudo longitudinal. Foi importante verificar a existência de um processo de reflexão por parte dos alunos quando explicitaram seus modelos explicativos, quer seja do ponto de vista científico, quer da coerência interna do seu próprio modelo (VIENNOT, 1979).

Elaboração dos níveis de adequação para avaliar as explicações dos alunos

Os níveis de adequação para avaliar as explicações dos alunos nas categorias dentro de cada dimensão de análise são norteados pelas respostas dos professores pesquisadores. Assim, três níveis de adequação foram elaborados, levando em consideração o nível de exigência e o tipo de questão: “aberta” ou “fechada”. As questões abertas possibilitaram uma variedade de explicações, com maior ou menor grau de reflexão, crenças, valores e sentimentos. As questões fechadas, redigidas de forma mais rígida e direcionada, suscitaram respostas mais objetivas (ROSA; ARNOLDI, 2006). A seguir são apresentados os níveis de adequação.

✓ ***Explicações Adequadas***

Explicações nas quais os alunos empregam leis e teorias decorrentes de modelos racionais coerentes com os modelos científicos. Foram consideradas neste nível de adequação, respostas dos alunos que envolveram explicações que mais se aproximaram dos argumentos apresentados pelos professores pesquisadores.

✓ ***Explicações Parcialmente Adequadas***

Explicações nas quais os alunos, embora apresentem erros conceituais e emprego informal da linguagem da química, demonstram *Alguma Compreensão* do

fenômeno. No conjunto da explicação, foi possível identificar nas respostas dos alunos, um modelo explicativo em construção, pois o aluno tentou articular com alguns conceitos de química, ainda que de forma incoerente.

✓ **Explicações Inadequadas**

Explicações contendo erros conceituais e concepções alternativas que não apresentam indícios da compreensão do fenômeno. Nesse nível, também foram consideradas as questões deixadas em branco, aquelas em que os alunos dizem não saber e respostas aparentemente sem relação com a pergunta.

Nos quadros 12, 13 e 14, são apresentados os critérios para avaliar o nível de adequação das explicações dos alunos (explicações adequadas, parcialmente adequadas e inadequadas, respectivamente) para cada dimensão de análise em suas categorias.

Quadro 12 – Critérios para avaliar o nível de adequação das explicações – 1ª Dimensão: Natureza da Matéria.

Categorias	Explicações adequadas	Explicações parcialmente adequadas	Explicações inadequadas
A1, A2 e A3 (Questão 1)	<p>O aluno reconhece o átomo como um modelo para justificar a constituição da matéria. Exemplos:</p> <p><i>“Quando você divide a matéria até não ser mais possível ela se transforma em um átomo”.</i></p> <p><i>“Acredito, pois toda a matéria é feita ou composta por algo, que são os átomos”.</i></p> <p><i>“Sim, os átomos são partículas que dão formação para todas as coisas”.</i></p> <p><i>“Sim eu acredito, pois um átomo é formado por prótons, elétrons e nêutrons e através da junção de muitos átomos se forma a matéria”.</i></p>	<p>O aluno apresenta em seus argumentos a palavra átomo, partículas etc. (ideias em nível submicroscópico). No entanto, em seu modelo explicativo, aparecem erros conceituais e o uso informal da linguagem da química. Quando apresenta uma explicação é possível notar noções sobre a constituição da matéria, ou seja, um modelo explicativo em construção, pois tenta articular com alguns conceitos de química, ainda que de forma incoerente. Exemplos:</p> <p><i>“Acredito, pois toda a partícula tem átomo”.</i></p> <p><i>“As partículas se juntam e formam o átomo”.</i></p>	<p>O aluno: apresenta ideias em nível submicroscópico, mas com ausência de um modelo de átomo aceito cientificamente que justifique a natureza da matéria. Ele manifesta em seus argumentos ideias vagas, desconexas e de caráter pessoal. Exemplos:</p> <p><i>“Pois cada átomo é formado por pequenas partículas de gases ou outras substâncias e foi denominada como matéria na química”.</i></p> <p>- apresenta explicações genéricas que não demonstram a elaboração de um modelo (em nível submicroscópico ou macroscópico) que justifique a natureza da matéria. Exemplos:</p> <p><i>“Acredito que é assim, porque é”.</i></p> <p><i>“Eu acredito que é certo porque eu já estudei sobre isso”.</i></p> <p><i>“Acredito porque os cientistas estudaram a teoria escolhida antes de tudo”.</i></p> <p>- não concebe a ideia de que a matéria seja formada por átomos. Exemplos:</p> <p><i>“Não acredito, pois há outras maneiras de explicar a constituição da matéria”.</i></p>

(Continua)

(Continuação)

Categorias	Explicações adequadas	Explicações parcialmente adequadas	Explicações inadequadas
B (Questão 2)	O aluno: - escolhe um modelo representativo para o átomo e indica suas partes adequadamente. - pode não escolher nenhum dos modelos, mas argumenta que pode existir um modelo de átomo, em que existe uma região onde há probabilidade de se encontrar o elétron, chamada de orbital.	O aluno escolhe: - um modelo representativo para o átomo, no entanto, comete erros na identificação de suas partes ou não as indica. - mais de um modelo representativo para o átomo e indica suas partes corretamente.	O aluno: - não escolhe um modelo representativo para o átomo, embora indique as partes, mesmo que seja de forma adequada para qualquer modelo. - escolhe mais de um modelo representativo para o átomo e comete erros na identificação de suas partes.
C (Questão 2 e 5)	O aluno: - indica corretamente o núcleo do átomo no modelo escolhido e faz a opção correta na questão sobre a descrição do núcleo. <u>Opção correta da descrição do núcleo:</u> um grupo de prótons e nêutrons juntos	O aluno: - indica corretamente o núcleo do átomo no modelo escolhido e faz a opção incorreta na questão 5 sobre a descrição do mesmo. - não indica o núcleo do átomo ou o faz incorretamente no modelo escolhido, no entanto, faz a opção correta na questão 5 sobre a descrição.	O aluno indica incorretamente ou não indica o núcleo do átomo na questão 2 e faz a opção incorreta na questão 5 sobre a descrição do mesmo. <u>Opções incorretas:</u> um grupo de elétrons, prótons e nêutrons juntos; um grupo de elétrons e prótons juntos; um grupo de elétrons e prótons se movendo ao redor de um centro de nêutrons; prótons se movendo ao redor de um centro de nêutrons.
D (Questão 2)	O aluno indica corretamente a eletrosfera e o elétron na questão.	O aluno indica corretamente apenas o elétron ou apenas a eletrosfera.	O aluno indica incorretamente ou não indica o elétron e a eletrosfera.
E (Questão 3)	O aluno optou por uma explicação correta para cada uma das situações apresentadas. <u>Opção correta:</u> há um espaço livre entre as partículas e neste não há nada.	O aluno faz opção por duas situações corretas e uma incorreta, o que foi considerado como indício de que a ideia do vazio pode estar em construção pelo aluno.	O aluno - faz opção por três situações incorretas, ou ainda, duas erradas e uma correta. <u>Opções incorretas:</u> não há espaços entre as partículas, estas estão muito juntas umas das outras e não pode haver nada; existem mais partículas do mesmo material; existe ar que preenche os espaços livres entre as partículas; as partículas da água se juntam aumentando o seu volume. - não responde à questão de acordo com a proposta solicitada.
F (Questão 4)	O aluno optou por uma explicação correta para as três situações apresentadas na questão. <i>“As partículas do material estão sempre em movimento”.</i>	O aluno faz opção por duas situações corretas e uma incorreta na questão, o que foi considerado como indício de que a ideia do movimento entre as partículas pode estar em construção pelo aluno.	O aluno: - faz opção por três situações incorretas, ou ainda, duas erradas e uma correta. - não responde a questão de acordo com a proposta solicitada. <i>“As partículas somente se movem se agitarmos o material”.</i> <i>“As partículas se movem somente se ocorrer bolhas que as empurre”.</i>

Quadro 13 – Critérios para avaliar o nível de adequação das explicações – 2ª dimensão: Natureza Elétrica da Matéria.

Categorias	Explicações Adequadas	Explicações Parcialmente Adequadas	Explicações Inadequadas
G (Explicação em nível submicroscópico) (Questão 6)	O aluno escolhe uma ou duas situações corretas na questão e fornece uma explicação coerente em nível atômico molecular relacionada ao fato de o átomo perder elétrons. <i>“Porque quando o ferro perde elétrons ele enferruja”</i> <i>“Pode perder elétrons devido a uma transformação química”.</i>	O aluno escolhe uma ou duas situações corretas na questão, no entanto, fornece explicações em nível atômico molecular com presença de erros conceituais e até mesmo o uso informal da linguagem química. Quando apresenta uma explicação é possível notar noções sobre a ideia da perda de elétrons pelo átomo. <i>“O portão enferruja no início e começa a ficar com buracos, assim perdendo os elétrons”.</i>	O aluno: - não indica ou indica incorretamente situações na questão e fornece explicações em nível atômico molecular com concepções alternativas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre o fato de o átomo perder elétrons. - indica uma ou duas situações corretas na questão. Fornece explicações em nível atômico molecular com concepções alternativas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre o fato de o átomo perder elétrons. <i>“Porque quando uma coisa enferruja, o átomo da ferrugem perde seus elétrons”.</i> <i>“O portão de ferro perde elétrons conforme fica mais velho”</i> <i>“Os papezinhos picados podem perder elétrons devido à transformação química”.</i>
I (Explicação em nível macroscópico) (Questão 6)	O aluno escolhe uma ou duas situações corretas na questão e fornece uma explicação com base nos aspectos observáveis e mensuráveis, capaz de dar sentido à situação. <i>“O portão de ferro devido à ferrugem e o tempo”.</i> <i>“O portão de ferro. Que com o tempo vai enferrujando e perdendo a coloração”.</i>	O aluno escolhe uma ou duas situações corretas na questão, no entanto, fornece explicações em nível macroscópico que, embora apresente concepções alternativas, dá algum sentido para a situação, demonstrando a elaboração de um modelo em construção para justificar a situação. <i>“O portão de ferro com o tempo vai corroendo e não vai sobrar mais nada”.</i>	O aluno: - indica uma ou duas situações corretas na questão e fornece explicações em nível macroscópico que não dão nenhum sentido à situação. <i>“Relacionei com a eletricidade”</i> <i>“Os raios se desfazem na terra quando chove”.</i> - indica uma ou duas situações corretas na questão e fornece explicações em nível macroscópico, com a presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre a natureza elétrica da matéria. <i>“O ferro vai perdendo sua pele”</i> <i>“O ferro vai desgastando e ficando velho”</i> - indica uma ou duas situações corretas, mas não fornece nenhuma explicação, deixa em branco. - não indica nenhuma situação e não fornece nenhuma explicação.

(Continua)

(Continuação)

Categorias	Explicações Adequadas	Explicações Parcialmente Adequadas	Explicações Inadequadas
H (Explicação em nível submicroscópico) (Questões 7 e 8)	O aluno elabora uma explicação coerente com a ciência para justificar a transformação química e a movimentação de elétrons. As explicações denotam a compreensão da situação com ideias associadas à estrutura da matéria em nível atômico molecular. <i>“Os átomos da prata perdem elétrons e ela escurece”. “O sal contém íons positivos e negativos e o açúcar não”.</i>	O aluno apresenta explicações com argumentos em nível atômico molecular sobre a transformação química e sobre a movimentação de elétrons. Nessas explicações, ocorrem erros conceituais e uso informal da linguagem química, mas elas denotam um modelo em construção sobre a natureza elétrica da matéria, pois os alunos tentam articular alguns dos conceitos em nível submicroscópico. <i>“Os elétrons fizeram com que a luz da lâmpada acendesse”. “A correntinha com o tempo vai perdendo átomos e acaba escurecendo”.</i>	O aluno explica a situação sobre a transformação química (perda de elétrons) e a movimentação de elétrons em nível atômico molecular. Em suas explicações ocorre a presença de concepções alternativas, muitas vezes animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre a natureza elétrica da matéria. <i>“A correntinha foi envelhecendo e os átomos não foram substituídos”. “A correntinha vai desbotando, e com isso, levando seus átomos compostos embora”.</i>
J (Explicação em nível macroscópico) (Questões 7 e 8)	O aluno fornece uma explicação com base nos aspectos observáveis e mensuráveis, capaz de dar sentido à situação. Apresenta um modelo explicativo capaz de justificar a transformação química e a movimentação de elétrons. <i>“Água e sal são condutores, água e açúcar, não”.</i>	O aluno fornece explicações em nível macroscópico sobre transformação química (perda de elétrons) e movimentação de elétrons. Apresenta erros conceituais e linguagem informal da química, mas nota-se a elaboração de um modelo em construção, ou seja, o aluno parece articular com algumas ideias escolares para explicar. <i>“A água e sal têm mais energia do que a água e o açúcar, por isso a lâmpada acende”.</i>	Os alunos apresentam concepções alternativas com explicações em nível macroscópico, que não dão sentido coerente à situação. <i>“Quando tem energia tem luz e quando não tem energia não tem luz”.</i>

Quadro 14 – Critérios para avaliar o nível de adequação das explicações – 3ª Dimensão: Interações Intra e Intermoleculares.

Categorias	Explicações adequadas	Explicações parcialmente adequadas	Explicações inadequadas
K (Explicação em nível submicroscópico) (Questão 10).	O aluno escolhe a alternativa que melhor representa a interação entre as substâncias químicas. <u>Opção correta:</u> ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e formação de novas substâncias.		O aluno escolhe uma alternativa incorreta na questão, que descreve um modelo submicroscópico alternativo, ou seja, presença de ideias vagas, pouco definidas. <u>Opções incorretas:</u> ocorrem quebras das ligações entre os átomos das substâncias iniciais e estas desaparecem; ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e as substâncias modificam a aparência, mas continuam as mesmas; as substâncias iniciais apenas evaporam sem alterar as ligações entre os átomos.

(Continua)

(Continuação)

Categorias	Explicações adequadas	Explicações parcialmente adequadas	Explicações inadequadas
L e M (Explicações em nível submicroscópico) (Questões 11 e 12).	As respostas dos alunos envolvem a ideia de interações intermoleculares representativas de um modelo explicativo coerente com a visão científica, capaz de explicar o aumento do volume da água no estado sólido e da volatilidade do álcool em relação à água.	As explicações dos alunos envolvem ideias sobre distanciamento e agrupamento, quantidade e movimentação de partículas. No entanto, apesar de incoerentes, as respostas apresentam articulação com os conceitos em nível submicroscópico, denotando um modelo em construção. <i>“As partículas de água se juntam aumentando o seu volume”.</i> <i>“As ligações químicas presentes no álcool são mais fracas do que as ligações químicas da água”.</i>	Nas respostas dos alunos, ocorrem concepções ingênuas e inconsistentes, envolvendo ideias: - animistas e substancialistas - relacionadas à quantidade de partículas na composição do material. <i>“O álcool evapora mais rápido por causa da quantidade de moléculas”.</i> <i>“O álcool evapora mais rápido por causa das partículas que ele contém”.</i> <i>“As partículas perdem força, congelam e ficam mais separadas”.</i> <i>“As moléculas da água se juntam e diminuem”.</i>
N e O (Explicações macroscópicas) (Questões 11 e 12).	Explicações com base nos aspectos observáveis e mensuráveis. Presença de um modelo explicativo que é capaz de justificar a situação de maneira coerente. Aparecem nas explicações ideias que envolvem: solubilidade, densidade, volatilidade, mudança de estado físico e composição do material. <i>“O álcool evapora mais rápido do que a água”.</i> <i>“A água muda de estado físico de líquido para sólido”.</i>	Explicações dos alunos: - envolvem ideias sobre: propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, mudança de estado físico, composição do material, fatores externos (clima, tempo, temperatura). - denotam um modelo em construção, dado a articulação que o aluno tenta realizar entre os conceitos, embora incoerentes. <i>“O álcool evapora mais rápido, pois é uma mistura”.</i> <i>“A água muda de estado físico com aumento de tamanho, virando pedra ou gelo”.</i>	As respostas dos alunos envolvem explicações alternativas vagas e inconsistentes que não dão conta de justificar o fenômeno, e envolvem: propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, composição do material, fatores externos (clima, tempo, temperatura). <i>“O álcool tem química a água não”.</i> <i>“Os componentes do álcool fazem ele evaporar mais rápido do que a água”.</i> <i>“O álcool é quente e inflamável”.</i> <i>“A água muda de estado físico expulsando o ar do interior da garrafa”.</i>

Ambos os instrumentos de análise – referente aos critérios de classificação das explicações (quadros 9, 10 e 11) e o do nível de adequação das explicações (quadros 12, 13 e 14) – foram validados por um mestre no ensino de ciências, que categorizou as explicações de alguns alunos. Desta validação, algumas categorias foram reavaliadas para melhor classificação da resposta do aluno e inseriu-se exemplos no instrumento do nível de adequação para auxiliarem nessa classificação. O instrumento foi então apresentado aos integrantes do grupo GEPEQ-IQUSP sendo analisado e validado.

4.3.1 Elaborações das Matrizes de Análises Considerando os Níveis de Adequação das Explicações

As explicações dadas pelos alunos às questões do Instrumento 1 (pré-teste) (apêndice B) e categorizadas conforme os instrumentos descritos anteriormente foram mapeados para matrizes de análise. Este mapeamento foi realizado tanto para o pré-teste (91 alunos), como para o pós-teste (dez alunos da 3ª série, advindos da 1ª série de 2012). Isso foi importante para a comparação das concepções dos alunos nas fases inicial e final da aprendizagem e puderam indicar possíveis modificações nas explicações, considerando a utilização de conceitos em nível submicroscópico e macroscópico. Além disso, este mapeamento contribuiu para identificar o que facilitou ou dificultou ao aluno durante o avanço em seus modelos explicativos.

Após o mapeamento das explicações dos alunos para cada matriz de análise, foram elaborados gráficos para melhor visualização do nível de adequação das explicações dos alunos em cada dimensão de análise. Tanto as matrizes, quanto esses gráficos são exibidos na análise dos dados.

4.3.2 Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos

O mapeamento das explicações dos alunos nas matrizes de análises e o exame do nível de adequação das mesmas revelou que os modelos explicativos dos alunos se apresentaram com diferentes graus de compreensão. Desta forma, para refinar o entendimento de como os alunos expressaram seus modelos explicativos não somente em termos da adequação das explicações, mas da profundidade de como utilizaram os conceitos exigidos em cada dimensão de análise, foram elaborados quatro níveis de compreensão: *insuficiente*, *vaga*, *alguma* e *boa compreensão*. A esses níveis atribuíram-se valores numéricos variando de 1,0 a 4,5, considerando-se o tipo de explicação que o aluno apresentou: explicação em nível macroscópico (valores fracionados) e explicações em nível submicroscópico (valores inteiros).

No quadro 15, são indicados os valores atribuídos aos níveis de compreensão e a relação destes com o nível de adequação.

Quadro 15 – Níveis de compreensão das explicações dos alunos de acordo com o tipo de explicação e seu nível de adequação.

Nível de compreensão			Nível de adequação
Explicação em Nível	Valor atribuído	Classificação	
Macroscópico	Nível 4,5	Boa	Adequado
Submicroscópico	Nível 4		
Macroscópico	Nível 3,5	Alguma	Parcialmente adequado
Submicroscópico	Nível 3		
Macroscópico	Nível 2,5	Vaga	Inadequado
Submicroscópico	Nível 2		
Macroscópico	Nível 1,5	Insuficiente	
Submicroscópico	Nível 1		

Valores maiores implicam em um aumento no nível de sofisticação dos modelos explicativos dos alunos relacionados, portanto, ao grau de reflexão quando eles manifestam em suas explicações o uso de conceitos em nível submicroscópico sobre a estrutura da matéria. Por exemplo, o desenvolvimento do modelo explicativo do aluno sobre a teoria particular da matéria foi classificado como *Boa Compreensão*, quando ele supera a visão das partículas como pequenas “peças” com propriedades macroscópicas, para uma visão submicroscópica considerando o comportamento coletivo das partículas.

Dessa forma, olhando para os critérios que se utilizaram para avaliar o nível de adequação das explicações dos alunos (quadros 9, 10 e 11), os mesmos foram relacionados com níveis de compreensão conforme a sofisticação das explicações apresentadas pelo aluno. A seguir são descritos os níveis de compreensão então elaborados.

- **Boa Compreensão:** Neste nível de compreensão foram consideradas as explicações tanto em nível macroscópico quanto submicroscópico que apresentaram bom entendimento dos conceitos⁸, na interpretação dos fenômenos. As explicações apresentaram coerência com os modelos científicos (argumentos apresentados pelos professores pesquisadores – quadros 9, 10 e 11).

Explicações em nível macroscópico: Os alunos mostraram capacidade de vincular as ideias em nível macroscópico às propriedades submicroscópicas para

⁸Os conceitos a que se referem são aqueles que foram explorados nas 1ª, 2ª e 3ª dimensões de análise.

explicarem os fenômenos, não utilizaram termos como, átomo, moléculas, partículas etc. No entanto, forneceram uma explicação considerada coerente para o fenômeno.

Explicações em nível submicroscópico: Os alunos apresentaram a capacidade de vincular as ideias em nível submicroscópico às propriedades macroscópicas para explicarem os fenômenos. Utilizaram termos como, átomo, moléculas, partículas, íons etc. e forneceram explicações consideradas coerentes sobre o fenômeno.

- **Alguma Compreensão:** Neste nível de compreensão, foram consideradas as explicações tanto em nível macroscópico quanto submicroscópico que apresentem algum entendimento dos conceitos na interpretação dos fenômenos com capacidade limitada de vincular as ideias em nível macroscópico e submicroscópico. Nas explicações dos alunos, observou-se a existência de base científica, ainda que elaborada de forma incorreta. Considera-se que exista um modelo em construção.

Explicações em nível macroscópico: Os alunos não citaram em suas explicações os termos, átomos, moléculas, partículas, íons etc.

Explicações em nível submicroscópico: Os alunos citaram em suas explicações os termos, átomos, moléculas, partículas, íons etc. O aluno mencionou algumas ideias em nível submicroscópico com utilização de concepções alternativas – animistas e substancialistas –, ou seja, o aluno poderia ter uma visão incorreta de partículas atribuindo a elas propriedades macroscópicas. No entanto, nas explicações dos alunos se percebia um modelo em construção.

- **Vaga Compreensão:** Neste nível de compreensão foram consideradas as explicações tanto em nível macroscópico quanto submicroscópico, que apresentaram vago entendimento dos conceitos na interpretação dos fenômenos e nenhuma capacidade de vincular as ideias em níveis macroscópico e submicroscópico.

Explicações em nível macroscópico: Os alunos não citaram em suas explicações os termos, átomos, moléculas, partículas, íons etc. O aluno mencionou algumas propriedades macroscópicas da matéria utilizando concepções alternativas, sem ligar estas às ideias em nível submicroscópico.

Explicações em nível submicroscópico: Os alunos citaram em suas explicações os termos, átomos, moléculas, partículas, íons etc. O aluno mencionou algumas ideias em nível submicroscópico com utilização de concepções alternativas – animistas e substancialistas –, ou seja, o aluno poderia ter uma visão incorreta de partículas atribuindo a elas propriedades macroscópicas. Nas explicações dos alunos não se percebia um modelo em construção

- **Insuficiente Compreensão:** Neste nível de compreensão foram consideradas as ausências de explicações tanto em nível macroscópico quanto submicroscópico. Os estudantes não expressaram nenhuma informação relevante em suas explicações ou ainda escreveram que não sabiam ou não acreditavam.

Para a nova categorização das explicações dos alunos nestes níveis de compreensão, suas respostas ao pré-teste foram revisitadas e classificadas quanto ao nível de adequação e ao nível de compreensão. Assim, para cada dimensão de análise são apresentados, na seção da Análise dos Dados, como se deu a nova categorização das respostas dos alunos, os gráficos que caracterizaram o nível de compreensão de acordo com o nível de adequação e a discussão dos resultados obtidos.

4.3.3 Explicações mais Recorrentes dos Alunos em Cada uma das Séries do Ensino Médio

Conhecer as ideias mais recorrentes dos alunos foi um instrumento importante para a verificação do desenvolvimento de seus modelos explicativos considerando o estudo longitudinal.

Dessa forma, as explicações dos alunos foram reagrupadas olhando-se as três Dimensões de Análise e buscando semelhanças entre suas características. Para nortear esse agrupamento foram utilizados os níveis de compreensão, de forma que as explicações de mesmo nível de compreensão, advindas de cada uma das Dimensões de Análise ficassem agrupadas. Verificou-se também a representatividade das explicações – número de alunos que se enquadraram na descrição da explicação.

Assim, foram elaborados quatro tipos de características de explicações: A (A1 e A2), B, C e D:

- Características das Explicações do Tipo A1: Foram consideradas aqui, ausência de explicações de caráter macroscópico e submicroscópico, ou seja, *Nenhuma Compreensão* dos conceitos e predomínio de respostas genéricas.
- Características das Explicações do Tipo A2: Foram consideradas aqui, explicações inadequadas (nível 1,0) com *Insuficiente Compreensão* em nível

submicroscópico (nível 1,0) ou macroscópico (nível 1,5). Respostas sem argumentos significativos que justificassem os fenômenos ou genéricas. No entanto, o aluno tentou fornecer uma explicação.

- Características das Explicações do Tipo B: Explicações inadequadas (nível de adequação 1,0). E, com *vaga compreensão* em nível submicroscópico (nível 2,0) ou macroscópico (nível 2,5). Explicações com a presença de elementos em níveis submicroscópicos, macroscópicos e genéricos, mas que apresentou relação com o fenômeno, diferente de dar respostas que não oferecessem informações significativas.
- Características das Explicações do Tipo C: Explicações com parcial nível de adequação (nível 2,0). E, com *Alguma Compreensão* em nível submicroscópico (nível 3,0) ou macroscópico (nível 3,5). Explicações com a presença de elementos submicroscópicos, macroscópicos e genéricos, com presença de uma base científica ou escolar, com um modelo explicativo em construção, ainda que não totalmente elaborado.
- Características das Explicações do Tipo D: Explicação com nível adequado (3,0) e *Boa Compreensão* em nível submicroscópico (nível 4,0) ou macroscópico (nível 4,5). Explicações com a presença de elementos submicroscópicos, macroscópicos e explicações genéricas. Concepções apresentando ideias relacionadas ao fenômeno.com explicação coerente com os modelos científicos.

Após definidas as características das explicações do tipo A, B, C e D, as explicações dos alunos foram reagrupadas e também foi indicado o número de alunos que se enquadravam naquele tipo de explicação.

A representatividade de alunos com um determinado tipo de explicação foi identificada da seguinte forma: maior representatividade em vermelho, seguidos das cores, azul, verde e amarelo. Dessa forma, um novo instrumento de análise foi construído e que possibilitou verificar as explicações mais recorrentes dos alunos (Apêndice E – Quadro 47). Os resultados desta análise são apresentados na seção de Análise dos Dados.

4.3.4 Estudo Longitudinal de um Grupo de Alunos

Para a realização deste estudo longitudinal, foram avaliados os instrumentos de análise já apresentados (pré-teste, entrevistas do 2º ao 4º período, pós-teste). Para cada aluno (total de 4 alunos) foram elaborados quatro mapas cognitivos, sendo que: o primeiro mapa explicitou as concepções do aluno sobre sua crença em relação à natureza corpuscular da matéria, o modelo representativo do átomo, identificação e reconhecimento das partes e partículas do átomo; o segundo mapa explicitou as concepções do aluno sobre movimento e espaços vazios das partículas – 1ª dimensão de análise; o terceiro mapa explicitou as concepções do aluno sobre a natureza elétrica da matéria – 2ª dimensão de análise; e o quarto mapa explicitou as concepções do aluno sobre as interações intra e inter partículas – 3ª dimensão de análise.

Para a confecção desses mapas cognitivos utilizou-se como ferramenta o programa CmapTools. A apresentação dos mapas e a análise dos resultados dos quatro alunos escolhidos para o estudo longitudinal são descritos na seção Análise dos Dados.

5 Análise dos Dados

Nesta seção serão apresentadas as análises dos resultados, a partir dos dados extraídos do acompanhamento das aulas, questionários pré-teste e pós-teste e entrevistas realizadas durante o processo de ensino e aprendizagem. Os dados foram analisados com o objetivo de verificar o desenvolvimento dos modelos explicativos dos alunos, quando explicaram fenômenos do cotidiano utilizando conceitos submicroscópicos acerca da estrutura da matéria.

Também foi realizada a análise do ensino da professora de química, com o objetivo de verificar as características do seu ensino e do processo de construção de conceitos submicroscópicos pelos alunos.

Assim, a análise é apresentada seguindo a sequência:

- ✓ Caracterização da professora e de seu ensino.
- ✓ Visão panorâmica do nível de adequação das explicações dos alunos nas três séries (1ª, 2ª e 3ª) acerca dos conceitos sobre a estrutura da matéria.
- ✓ Visão panorâmica do nível de compreensão dos alunos nas três séries (1ª, 2ª e 3ª) acerca dos conceitos sobre a estrutura da matéria.
- ✓ Explicações mais recorrentes dos alunos em cada uma das séries do Ensino Médio.
- ✓ Análise do desenvolvimento conceitual de quatro alunos que foram acompanhados durante o estudo longitudinal.

5.1 Caracterização da Professora e de seu Ensino

Nesta análise são apresentadas algumas características do perfil da professora de química e de seu ensino, extraídas da entrevista semiestruturada e do acompanhamento de suas aulas, durante o estudo longitudinal. As menções a seguir se referem à fala da professora durante a entrevista e também no decorrer das suas aulas.

✓ **Caracterização da formação acadêmica da professora:**

A professora teve formação em engenharia química com complementação em licenciatura em química. Optou em seguir a carreira nessa área, pois se identificara com as disciplinas de exatas (matemática e química) e biológicas e também com o seu professor de química. Quando estudante tentou seguir a área de medicina, mas não logrou êxito nos vestibulares por conta da concorrência e da alta pontuação exigida para o ingresso na carreira, além da sua própria defasagem de conteúdo, que segundo ela, foi justificada por ter estudado na rede pública de ensino: *"Mas assim, por conta de ser aluna estadual a gente tinha muita defasagem em termos de conteúdo, já naquela época. E mesmo fazendo o cursinho tinha dificuldade"*.

Não atuou como engenheira química pela dificuldade em empregar-se na área. Por isso, investiu na área de ensino, começando em 1986, porém, se afastou por dois anos, pois nessa época, optou por trabalhar por conta, retornando à sala de aula posteriormente. No total, sua experiência soma de vinte e seis anos em sala de aula.

✓ **Visão da professora sobre o ensino e aprendizagem:**

A professora argumentou que o ensino está cada vez mais defasado. Avaliou inadequada a forma como os conceitos são apresentados no início do curso, ou seja, pouco aprofundamento de ideias fundamentais, tais como, o modelo do átomo, necessárias para a compreensão de outros conceitos por parte dos alunos.

Como dificuldades para o ensino ela destacou: falta de tempo para a preparação de uma boa aula, defasagem do professor no domínio de determinados conceitos culminando na seleção de alguns tópicos de química em detrimento de outros, poucas aulas para ministrar todo o conteúdo programático: *"A gente está perdendo porque a gente está tentando de uma maneira, como eu falei simplificar tanto o conteúdo, que certas coisas a gente têm que passar por cima"*.

Ao iniciar seu ensino, a professora, na maioria das vezes, partiu da visão em nível macroscópico para uma visão em nível submicroscópico do conceito abordado, investigando as concepções prévias dos alunos por meio de questões. No entanto, no decorrer das aulas as exigências das questões propostas por ela, suscitaram, na maioria das vezes, respostas, para as quais os alunos utilizaram a memorização e exemplificação.

A professora considerou que durante o ensino os conteúdos não foram interligados e os alunos construíram uma visão fragmentada dos conceitos, dificultando assim, a compreensão de uma ideia como um todo. Desta forma, ela

procurou sempre que possível resgatar conceitos já aprendidos e relacioná-los com os novos conceitos. Por exemplo, ela retomou a ideia sobre a distribuição eletrônica quando ensinou ligações químicas.

✓ **Abordagem de conceitos em nível sub microscópico:**

Os conceitos em nível submicroscópico foram abordados pela professora em vários momentos do ensino. No primeiro bimestre da 1ª série, ela explorou o conceito de transformações químicas ao nível de explicações em nível macroscópico e o diferenciou de mudanças de estado físico para construir a ideia de que na transformação química ocorreu a formação de novas substâncias que poderiam ou não apresentar evidências perceptíveis.

Nesta fase a professora apresentou por escrito algumas equações representativas das transformações químicas, com o objetivo de que o aluno percebesse a ocorrência da formação de novas substâncias e diferenciasse reagentes de produtos. Os alunos apresentaram muitas dificuldades, como o reconhecimento do algodão para a obtenção de tecidos, e o emprego correto dos termos: produtos e reagentes.

A professora fez uso de aulas de laboratório para que os alunos reconhecessem uma transformação química por meio de evidências e percebessem que fatores poderiam estar envolvidos nas transformações, como tempo e a energia. Foi um momento difícil, pois os alunos não se organizaram e não entendiam o que deveriam fazer. Muitas concepções alternativas surgiram nessa aula sobre as evidências das transformações químicas. Como por exemplo, a identificação do gás produzido na decomposição do carbonato de cálcio como sendo ar ou oxigênio; a mudança de cor da palha de aço na interação com sulfato de cobre aquoso é atribuída à formação de ferrugem. Os resultados dos experimentos foram discutidos e os alunos perceberam as evidências de algumas transformações.

A professora proporcionou o estabelecimento de relações entre a ideia das transformações químicas e o sistema produtivo, explorando um vídeo sobre a produção do etanol, no qual comentou sobre o domínio da tecnologia na obtenção do etanol, do Proálcool, problemas da monocultura, impactos econômicos e ambientais. Foi um momento rico, mas a discussão do vídeo ficou centrada nos argumentos da professora, pouca interação aconteceu entre os pares, o que caracterizou o momento como informativo e não formativo.

Apesar dos esforços, a professora valorizou mais a ideia de classificar os fenômenos como transformações químicas ou transformações físicas, em vez de construir o conceito de transformação.

O uso dos combustíveis e o poder calorífico dos mesmos relacionados a uma transformação química foi abordado, mas a relação entre a massa de combustível e o calor produzido na combustão foi desenvolvida de forma algorítmica. Momento em que os alunos resolveram cálculos sem que fossem levados a refletir sobre a composição do material e o processo de combustão. Reflexões estas, importantes porque poderiam desencadear ideias sobre os aspectos qualitativos da transformação química.

A resolução dos exercícios pela professora também foi feita de forma mecânica, com ênfase no resultado quantitativo e não na interpretação dos mesmos. Os alunos exemplificaram alguns tipos de combustíveis e a professora apresentou algumas unidades de medida, tais como joule, quilo joule, calorias e quilocalorias e resolveram exercícios.

O modelo de Dalton foi introduzido no segundo bimestre da 1ª série. De acordo com a professora, nessa fase, os alunos praticamente não apresentaram ideias sobre os modelos atômicos, mas alguns trouxeram para a sala de aula algumas ideias, ainda que desestruturadas, de modelos mais elaborados: *"Alguns professores, às vezes, em ciências, já adiantam prótons, elétrons, nêutrons, adiantam distribuição eletrônica. E tem uns alunos que não veem nada, chegam aqui sem nenhuma informação. Então, quando você começa a falar do modelo atômico, alguns falam, mas e os prótons e os elétrons?"*.

Nesta fase, seu ensino enfatizou a ideia de o átomo ser representado por pequenas "bolinhas", utilizando modelos de bolinhas, slides e tabelas com os símbolos propostos por Dalton para representar os átomos. Argumentou que a principal concepção que ficou para os alunos foi a do modelo do átomo como uma bolinha: *"Na primeira série pelo menos... Eu penso assim: Mesmo que ele pense que a matéria é formada de um monte de bolinhas e essas bolinhas são átomos, eu acho que já estamos na metade do caminho. Pelo menos já está sabendo que a matéria é formada por átomos"*.

Os alunos foram orientados a ler um texto sobre a teoria de Dalton e a professora fez discussões sobre a mesma, explorando conceitos sobre: a definição de elemento químico, simbologia e origem do nome dos elementos. A representação

e interpretação das substâncias químicas, com suas fórmulas e índices, foram introduzidas focando a linguagem e simbologia da química, tais como, H_2O , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 3O_2 .

Embora a professora tivesse proposto experimentos para a verificação da conservação da massa em uma transformação química, não empregou utilmente o modelo de Dalton para justificá-la. Pouco motivou os alunos a pensarem no fato de que, em uma transformação química os átomos dos reagentes não são destruídos, mas que sofrem recombinações.

Apesar de o modelo para o átomo ser apresentado na 1ª série, a professora defendeu que nessa fase, o aluno apenas absorve as informações, mas não as transforma em significados, e que só fará isso na 2ª série, e às vezes, muitos alunos nem o farão.

A professora relatou que com a mudança do currículo, parte do ensino que envolve a estrutura da matéria em maior profundidade, passou a ser explorado na 2ª série. Ela considerou que isto foi importante, pois o aluno, nessa fase do ensino, está mais maduro para compreender os fenômenos sob a óptica do modelo atômico. No entanto, ela argumentou que na 1ª série, os alunos apresentaram muita dificuldade na compreensão de alguns fenômenos que exigem a aplicação dessas ideias, e por isso antecipou alguns conceitos, porém sem aprofundá-los. Argumentou que existe um "vácuo" no ensino de conceitos, considerando a visão em nível macroscópico e submicroscópico, o que dificulta o entendimento por parte dos alunos, ou seja, há um distanciamento do ensino desses dois níveis. Foi evidente a dificuldade da professora em desvincular de seu ensino na 1ª série, explicações que exigem modelos submicroscópicos da matéria. O 3º e 4º bimestre não foram descritos, pois foram tratados nesta fase, propriedades da matéria abordando aspectos em nível macroscópico.

Na 2ª série, a professora iniciou o ensino aprofundando a ideia de substância pura, utilizando como mote a diferenciação entre a água pura e a água potável, caracterizando, desta forma, algumas propriedades da substância, tais como: densidade, temperatura de fusão e de ebulição, bem como solubilidade. Os alunos compararam e interpretaram dados envolvendo essas propriedades e a professora desencadeou discussões relacionadas às questões do uso, contaminação, componentes que afetam a qualidade da água, concentração de alguns elementos na água potável, potabilidade etc.

A ideia sobre a solubilidade de um sólido em água foi abordada pela professora com ênfase aos aspectos quantitativos da dissolução. Dessa forma, ela apresentou alguns frascos com massas diferentes de sulfato de cobre dissolvido em volumes iguais de água. Pela comparação das cores apresentadas, os alunos perceberam a existência de um limite de solubilidade e a possibilidade de que podem ocorrer sais com diferentes solubilidades em água. Fizeram análise de tabelas comparando os valores de solubilidade de algumas substâncias. No entanto, a professora não instigou os alunos a pensarem nos aspectos qualitativos da dissolução.

Outras propriedades, tais como o calor específico e a condutibilidade elétrica também foram explorados pela professora com o objetivo de ampliar as ideias a respeito do modelo atômico. Para esta finalidade, realizou experimentos demonstrativos, fazendo o teste de condutibilidade elétrica de algumas soluções.

Ideias sobre calor específico foram exploradas solicitando aos alunos que observassem o tempo que se levou para secar uma região que foi levemente "umidificada" com água, álcool e acetona. Os alunos apresentaram muitas concepções alternativas, como: *"a acetona está sumindo"*, *"a água está firme e forte e não seca"*, *"acetona tem mais elementos químicos"*, *"a água é mais leve"*. Com o experimento, os alunos perceberam que existem substâncias que necessitam de mais calor para mudarem de estado físico, a professora os auxiliou na definição de calor específico e discutiu a importância dessa propriedade na explicação de fenômenos.

A professora realizou outro experimento envolvendo a eletrização: *"A gente, às vezes, coloca a parte de eletrização mostrando para eles a matéria sendo eletrizada, mas... Eu acho que muitas vezes eles não conseguem ver na prática uma aplicação para isso"*. Testou a condutibilidade elétrica de materiais, como papel, plástico e metais, com o objetivo de que os alunos comesçassem a pensar na existência de partículas eletrizadas e presentes na constituição atômica: *"Então, quando eu estou em sala de aula falando isso eu falo do papelzinho que a gente pica e aí eletriza no cabelo. Até mostro o papel sendo eletrizado. É um tipo de eletricidade, é um tipo de carga elétrica. Isso para o pessoal entender que não era bem tudo neutro. Que tinha carga. Isso ajuda bastante também."*

Testes da condutibilidade elétrica em algumas soluções como água contendo sal de cozinha, água potável e também água destilada foram realizados pela professora. Os alunos começaram a questionar que a presença do sal (NaCl) induziu a formação da corrente elétrica, pois existiam partículas com cargas elétricas. Mas a

reflexão sobre a origem dessas partículas não foi alcançada. Não avançaram em explicações que presumissem a movimentação de cargas elétricas na geração da corrente elétrica, e muito menos supuseram que essas cargas elétricas estariam associadas a um modelo de átomo mais sofisticado do que Dalton apresentou. Neste momento, a professora fez questões para auxiliá-los nas reflexões, porém, sem êxito, pois ela antecipou algumas respostas para as suas próprias questões: *"A corrente elétrica é gerada pelas substâncias que estão ali dentro, como? Dissolvidas. Eu não consigo ver. Cargas estão se juntando como se fossem uma corrente mesmo para chegar do outro lado e unir os dois pontos. Se a lâmpada não acende é porque essas cargas que estão aqui não são apropriadas nesse sentido. Pelos átomos que estão aqui, como chamam? A gente vai chamar de íons."*

Pela fala da professora foi possível reconhecer sua dificuldade de utilizar o modelo atômico na construção de explicações em nível submicroscópico.

No 2^a bimestre da 2^a série, foram aprofundados os conhecimentos sobre a estrutura atômica da matéria, partículas do átomo e suas relações com as propriedades da matéria. A professora apresentou um vídeo para mostrar a importância da evolução histórica dos modelos atômicos, apresentando as ideias de Rutherford e Bohr, para que estes dessem subsídios para a compreensão dos alunos sobre o comportamento dos materiais. O vídeo foi apresentado rapidamente, sem discussões e interação dos alunos. Uma aluna argumentou: *"Não entendi nada"*. Além do vídeo, a professora explorou a evolução histórica dos modelos atômicos por meio de textos. Após a leitura dos textos, os alunos resolveram questões comparando e diferenciando os modelos atômicos apresentados.

A professora declarou que apesar de os alunos confundirem a identificação das cargas elétricas das partículas atômicas, ela tinha como expectativa que eles saibam da existência dos modelos atômicos diferentes e que houve uma evolução de ideias com o decorrer do tempo na busca de explicações sobre a constituição da matéria. Também esperava que os alunos interpretassem as propriedades da matéria e as ligações químicas utilizando os modelos atômicos: *"Eles conseguem entender que tem a ver com a carga elétrica. O que eu acho que é difícil para eles é entender o modelo, como um conjunto de informações, ou seja, que tem as cargas positivas e negativas. Até pra gente é difícil, né? [...] Eu acho que se o aluno sair sabendo que existem modelos diferentes, que houve uma evolução nos modelos e saber que muitas das propriedades da matéria estão relacionadas com o modelo atômico,*

mesmo que ele não consiga identificar a parte positiva da parte negativa, mas que ele saiba que tem alguma coisa a ver com o modelo atômico e que isso vai ligar com ligações químicas já é um ganho".

Uma vez apresentado os modelos atômicos, a professora expôs algumas definições de elemento químico, átomo neutro, número atômico e massa atômica. Mostrou a representação da notação química de alguns elementos químicos sugerindo e resolvendo exercícios para identificação da quantidade de prótons, nêutrons e elétrons do átomo.

Ela explorou as ideias sobre a eletrosfera e o núcleo atômico e fez uma diferenciação entre os modelos atômicos de Dalton, Thompson e Rutherford. Todos estes conceitos e ideias foram discutidos muito rapidamente com os alunos. Foram apresentadas como informações. Não foi dado aos alunos o tempo suficiente para que as ideias sobre os modelos atômicos fossem por eles organizadas. O objetivo de compreender as limitações do modelo de Dalton e interpretar os fatos que levaram a um modelo nuclear, com a utilização das ideias de Rutherford, foram alcançados apenas em parte pelos alunos.

O modelo de Bohr foi exibido aos alunos, mas o tratamento sobre a quantização dos elétrons não foi discutido com profundidade, ou seja, ideias sobre a existência de órbitas, possuindo diferentes quantidades de energia, envolvendo absorção e liberação na transição dos elétrons, não foi valorizada. Aos alunos foram apresentados os níveis de energia e os respectivos elétrons, os quais foram utilizados por eles de forma algorítmica para fazerem a distribuição eletrônica.

Foi possível verificar que os alunos ficaram confusos não distinguindo corretamente entre os modelos mostrados. Outros deram pouca atenção a este assunto, talvez pelo fato de que, além de ser um conceito abstrato, foi tratado de forma muito rápida. Receberam ao mesmo tempo informações diferentes, tais como: diferentes modelos, partículas e partes do átomo. Além disso, foram apresentados aos alunos, na forma de um monólogo, os postulados do átomo de Bohr. Algumas frases dos alunos, após o ensino destes modelos foram destacadas. Elas puderam corroborar com esta avaliação: *"Ah! Eu entendi como foi a ideia dos átomos que eu não sabia. Que existe diferenças."*; *"O átomo de Dalton eu entendi que ele tem a mesma massa e possui cargas negativas e positivas."*; *"As regiões que constituem o átomo são os íons e próton e núcleo são os elétrons. "*

Os exercícios sobre esse assunto também foram tratados com base no monólogo da professora, que acabou "ditando" para os alunos as respostas, não discutindo ou, sequer explorando as ideias dos mesmos. A seguir a fala da professora sobre a questão: "Número atômico é o mesmo que número de massa? *"Completa aí. Não porque número atômico indica ou representa o número de prótons ou é igual ao número de prótons. E número de massa é prótons mais nêutrons"*.

A ideia da existência de isótopos também foi apresentada aos alunos de forma rápida, a professora recorreu a uma tabela apresentando os isótopos de hidrogênio, comentou sobre a aplicação dos isótopos, mas não contextualizou a importância dos mesmos.

A professora explorou a ideia de que o átomo pode perder ou ganhar elétrons e apresentou o conceito de íon, mas não o relacionou com explicações que envolvem concepções sobre energia de ionização. Os alunos identificaram cátions e ânions e resolveram os exercícios aplicativos para a determinação da quantidade de elétrons de íons e de átomos neutros. A professora não retomou os resultados do experimento sobre a condutibilidade elétrica em solução aquosa relacionando à formação de íons.

Ideias sobre a tabela periódica foram apresentadas pela professora na metade do 2º bimestre. O ensino foi centrado na fala da professora que apresentou os períodos e grupos, explorou a relação entre a posição dos elementos no sistema periódico em função das distribuições eletrônicas.

Essa aula foi ministrada de forma predominante pela fala da professora, apresentando regras e "frases" para auxiliar os alunos sobre o posicionamento e identificação dos elementos que constituem cada grupo. Apesar de algumas tentativas, a professora estabeleceu poucas relações entre os conhecimentos sobre a estrutura atômica e a organização dos elementos na tabela periódica. Ela explicou como seria a disposição dos elétrons nos níveis de energia e aplicou regras para a distribuição eletrônica de alguns elementos químicos. A regularidade das propriedades físicas e químicas das substâncias representadas pelos elementos químicos correspondentes em função da disposição dos elétrons nos níveis de energia e dos elétrons de valência foi comentada rapidamente, mas não foi dado aos alunos oportunidades para que pudessem fazer as devidas associações e observações.

Ao final do segundo bimestre da 2ª série, a professora iniciou o ensino de ligações químicas retomando as ideias sobre a tabela periódica. Ideias estas que

foram exploradas anteriormente. Argumentou com os alunos que assim como os elementos apresentavam semelhanças e diferenças nas suas propriedades, nas substâncias isto também poderia ser observado. Comparou a condutibilidade de uma solução aquosa de cloreto de sódio e de uma solução aquosa de sacarose: *"Então, de alguma maneira os elementos se combinam para formar as diferentes substâncias, certo? E aí também dentro das substâncias nós temos as que apresentam propriedades diferentes, não é isso? Lembra quando a gente foi lá no laboratório fazer aquela experiência para ver qual conduzia ou não a corrente elétrica? Ou seja? Para ver se a lâmpada acendia ou não. "*

A professora tentou fazer com que os alunos pensassem que para a condução da corrente elétrica, "algo" ocorreu com as diferentes substâncias quando entraram em contato com a água, introduzindo a ideia de ligação química.

A ligação iônica foi apresentada aos alunos como a tendência do átomo em perder ou ganhar elétrons para atingir a estabilidade de um gás nobre: *"Aí tem a palavra chave: transferência. O que é transferência? Você passa de um para o outro, tá? Um perde e outro ganha elétrons e quando isso acontece, um átomo vira um cátion ou um ânion. "*

A professora não retomou as ideias de Rutherford sobre a constituição da matéria, considerando a existência de forças de atração e repulsão entre as partículas constituintes dos átomos. Desta forma, os alunos foram levados a pensar na transferência de elétrons em uma ligação iônica, não como uma interação entre átomos, na qual o núcleo de um átomo atrai os elétrons de outro átomo para geração de íons, os quais se atraem. A professora fez uma abordagem por meio da "regra do octeto" e os alunos empregaram os passos da regra, de forma mecânica, sem entenderem o significado da ligação química: *"Todos os átomos querem ficar com oito elétrons na última camada, lembram? Com exceção do hélio que só tem dois elétrons. Os átomos vão fazer de tudo para alcançar esta estabilidade."*

O posicionamento dos elementos nos grupos representativos e a quantidade de elétrons na camada de valência de acordo com este posicionamento foram explicados pela professora com a apresentação de alguns exemplos. Dessa forma, o conceito de ligações entre metais e não metais, para que os alunos percebessem os diferentes tipos de combinação que poderiam ocorrer entre um metal, como por exemplo, o sódio e outro como o magnésio, foram explorados com a ajuda da tabela

periódica: *"Então, aí eu dou magnésio. Magnésio já são dois elétrons e vai ter outro comportamento e vai ter outra fórmula".*

Ela também explorou ideias sobre ligações covalentes e foi trabalhando com elementos de grupos diferentes definindo os modelos de ligação simples, dupla e tripla. Apresentou a formação da molécula de hidrogênio. Trabalhou o conceito do compartilhamento de elétrons na ligação covalente, mas não levou os alunos a refletirem sobre a ideia de interações eletrostáticas com atrações entre elétron de um átomo e núcleo de outro, com a mesma magnitude. Propôs aos alunos a elaboração de representações da ligação covalente para as seguintes substâncias: água, amônia e metano. Explorou a ideia de ligação metálica e a partir dela discutiu o comportamento de alguns metais quanto à condutibilidade elétrica.

Ainda nesse bimestre, a professora relacionou os conceitos de ligações Inter atômicas com liberação e absorção de energia para compreensão das transformações químicas. Explorou a transformação química como a quebra de ligações dos reagentes e formação de novas ligações entre os elementos que constituem os produtos. Retomou a reação de combustão e procurou fazer com que os alunos percebessem a necessidade de energia para o rompimento de ligações e a liberação de energia na formação de novas ligações.

As ideias sobre forças intermoleculares foram apresentadas no terceiro bimestre. A professora alegou não ser possível trabalhar esse conceito como foi apresentado no caderno do professor e do aluno por não ter tido tempo hábil para isso: *"Terminando as ligações químicas vêm as forças intermoleculares. Só que não dá para trabalhar forças intermoleculares do jeito que às vezes eles colocam na apostila. Os alunos teriam que saber bem ligações químicas e depois a gente teria que estar vendo cada uma delas e explicando direitinho, não é? Fica muito falho porque não dá tempo. Se a gente quiser dar termoquímica não dá tempo de dar intermoleculares e se a gente quiser explicar ligações químicas não dá tempo de dar forças intermoleculares, entendeu?"*.

Para dar uma noção aos alunos sobre forças intermoleculares, a professora propôs a realização de uma pesquisa sobre algumas moléculas e os tipos de forças intermoleculares existentes nas mesmas. Solicitou que os alunos relacionassem as moléculas com as propriedades da substância, tais como, temperatura de fusão, ebulição, estado físico e solubilidade. Ela discutiu os dados da pesquisa realizada pelos alunos, elaborou um quadro na lousa com as informações que eles

pesquisaram. A partir do quadro, ela comparou, com o auxílio dos alunos, os tipos de forças intermoleculares e as propriedades das substâncias. Ela considerou que os alunos não desenvolveram uma boa compreensão desse assunto, mas passaram a ter uma noção: *"Na lousa a gente faz um tipo de um resumo sobre o assunto e também eu peço pra eles relacionarem as forças intermoleculares, eles têm que fazer uma pesquisa: como que as forças intermoleculares estão na parte do ponto de ebulição, do ponto de fusão, no estado físico, se ele é sólido, líquido ou gasoso. Eles têm que pesquisar o que é cada uma delas e depois verificar como que elas interferem no estado físico, no ponto de ebulição, no ponto de fusão é o que mais a gente trabalha. E pesquisam também sobre a solubilidade. Por que molécula polar... Eu peço para eles pesquisarem o que é molécula polar e apolar"*.

A professora também relatou que optou por aprofundar os conceitos sobre ligações químicas que auxiliaram no ensino de termoquímica. Isso prejudicou o desenvolvimento de conceitos de eletroquímica, no 4º bimestre da 2ª série, que foram reduzidos. Ela preferiu priorizar os conceitos de termoquímica alegando que são mais solicitados nos vestibulares. Explorou ideias sobre reações endotérmicas, exotérmicas e energia de ligação. Solicitou cálculos da variação de entalpia. Os alunos aplicaram exercícios de forma mecânica. A professora comentou que não abordou a Lei de Hess por falta de tempo, por isso solicitou um trabalho no final do ensino de termoquímica, no qual, o aluno deveria elaborar um cardápio utilizando a taxa metabólica basal.

No 1º bimestre da 3ª série, a professora abordou os conceitos sobre a cinética química. Conceitos estes relacionados à transformação química. Explorou as concepções dos alunos sobre a rapidez de algumas reações e sua importância. Os alunos exemplificaram transformações químicas que acontecem com maior ou menor rapidez, por exemplo, a efervescência de um comprimido, a explosão de uma bomba, a formação da ferrugem e a digestão dos alimentos: *"Em uma transformação química é preciso verificar o que são reagentes e o que são produtos. Então, eu tenho que avaliar quanto tempo leva para um reagente se transformar em produto. Será que isso é importante?"*.

Os alunos participaram exemplificando e refletindo sobre a rapidez de uma transformação química nos contextos da reciclagem, conservação de alimentos, contaminações bacterianas e corrosão. A professora definiu a teoria, utilizando a lousa, fazendo um resumo e escrevendo sobre os principais fatores que afetam a

rapidez das reações. Destacou a importância dos choques entre as partículas das substâncias que participam da reação e argumentou sobre a quebra e formação de novas ligações em uma transformação química.

A aula foi na maior parte do tempo, centrada na fala da professora, que exigiu questões, nas quais os alunos completavam o raciocínio que ela começava, por exemplo: *“Então, se eu tenho um maior número de moléculas num recipiente, o número de colisões vai aumentar ou diminuir?”*.

A professora teve dificuldades em dar a voz aos alunos, ela mesma respondia as próprias questões que fazia e, por muitas vezes, não escutou os comentários dos alunos ou até os interrompeu.

A professora propôs um experimento para que os alunos observassem e reconhecessem como a variação da temperatura e o estado de agregação das partículas que constituem os materiais poderiam afetar a rapidez de uma transformação química. Os resultados do experimento foram discutidos (comprimidos antiácidos: inteiros e triturados; em contato com água: quente e fria). A fala da professora foi predominante nas discussões.

Ela abordou a influência do catalisador nas transformações químicas, citou alguns exemplos de catalisadores no dia a dia do aluno, discutiu diagramas que caracterizavam o caminho de uma transformação química na ausência e na presença de catalisadores e sugeriu exercícios de aplicação dos conceitos.

No 2º bimestre da 3ª série a professora abordou os conceitos sobre equilíbrio químico. Apesar de iniciar sondando as concepções dos alunos sobre equilíbrio, seguiu apresentando o conceito, definindo a constante de equilíbrio, apresentando diagramas e resolvendo exercícios de forma algorítmica. Não explorou a interpretação dos valores da constante de equilíbrio.

Ainda, neste bimestre, a professora discutiu sobre o conceito de pH, e os alunos exemplificaram situações nas quais já tinham ouvido falar sobre este conceito, tais como: suco gástrico, sabonete, suor, suco de limão, vinagre etc. A professora definiu o conceito de pH, apresentando a ionização de um ácido. Ela apresentou a fórmula para cálculo de pH e pOH e aplicou exercícios.

A partir do 3º bimestre da 3ª série as aulas não foram mais acompanhadas pela pesquisadora deste trabalho, pois os conceitos desenvolvidos não seriam o foco desta pesquisa.

✓ **Dificuldades e estratégias apontadas pela professora:**

Na entrevista a professora apontou que uma das principais dificuldades de se ensinar os conceitos em nível submicroscópico se deviam ao nível de exigência de abstração dos mesmos. Citou como exemplo, o ensino dos modelos atômicos e ligações químicas que, segundo ela, seriam a base para a compreensão da matéria. Ela enfatizou que o tempo foi um dos fatores limitantes para o aprendizado desses modelos. Apesar de a professora não fazer uso de recursos didáticos como simulações e modelos para facilitar a abstração dessas ideias, ela propôs aulas de laboratório, utilizando-se de vídeos, sugerindo a elaboração de trabalhos teóricos em equipe, coordenando feiras de ciência e olimpíadas.

Durante o estudo longitudinal, no acompanhamento das aulas, foi possível identificar a dificuldade que a professora teve em relacionar os conceitos em nível submicroscópico ao longo das aulas, ensinando-os de forma fragmentada e estabelecendo poucas relações entre os mesmos.

No seu ensino ela busca conhecer as concepções dos alunos sobre alguns conceitos, porém, pouco explora estas ideias no decorrer do ensino. Alguns conceitos, como as forças intermoleculares e o tema: eletroquímica, foram propostos pela professora, usando como estratégia a realização de pesquisa.

✓ **Perfil do ensino da professora:**

A partir da análise feita anteriormente foi possível identificar que a professora apresentou no seu ensino, características tradicionais com tendências construtivistas. Características tradicionais, pois a professora aparentemente preocupou-se mais com a transmissão de conteúdos e garantir que a maior parte dos conceitos fosse abordada. Centrou o ensino, na maioria das vezes, em si própria, pois já determinava a metodologia, conteúdo, avaliação e a forma de interação na sala de aula.

Tendências construtivistas, pois em determinados momentos, ela pareceu se preocupar mais com o que o aluno sabia, antes de iniciar o ensino, e em algumas das estratégias que desenvolveu, encorajou os alunos a uma participação mais ativa, levando-os a refletirem e construir seu conhecimento, mesmo de forma não tão elaborada.

5.2 Visão Panorâmica do Nível de Adequação Global das Explicações dos Alunos das Três Séries (1ª, 2ª e 3ª) para as Questões do pré-teste, nas Três Dimensões de Análise.

As explicações dos alunos ao Instrumento 1 (pré-teste) foram categorizadas e foram avaliados os níveis de adequação das mesmas, construindo-se matrizes de análise. As matrizes foram elaboradas com base nos instrumentos da classificação das explicações (quadros 9, 10 e 11) e do nível de adequação das respostas dos alunos (quadros 12,13 e 14), apresentados na metodologia da análise.

Dessa forma, as matrizes apontam o nível de adequação das explicações dos alunos de 1ª série (32 alunos); 2ª série (27 alunos) e 3ª série (32 alunos), em cada uma das categorias nas dimensões de análise, tanto individualmente quanto em comparação com toda classe.

Para que se pudesse ter uma visão do conhecimento do aluno como um todo, foram atribuídos valores aos níveis de adequação das explicações, de acordo com o seguinte critério: explicações adequadas (3,0), parcialmente adequadas (2,0) e inadequadas (1,0), sendo que o valor mais alto foi atribuído às explicações que mais se aproximaram dos conceitos científicos.

Optou-se por diferenciar o aluno que não forneceu nenhuma explicação, atribuindo o valor zero a não existência de resposta do aluno que pelo menos tentou explicar, mesmo que de forma inadequada. Dessa maneira, a somatória dos valores foi relacionada a um nível de adequação das explicações do aluno sobre a estrutura da matéria em uma dada categoria e no conjunto delas em uma dada dimensão.

Nas matrizes de análise o nível de adequação das explicações é apresentado de acordo com símbolos e valores de acordo com o Quadro 16:

Quadro 16 – Simbologia utilizada na matriz de análise para indicar o nível de adequação das explicações dos alunos.

Nível de Adequação	Valor Atribuído
Respostas Inexistentes	0
Respostas Inadequadas	1,0
Respostas Parcialmente Adequadas	2,0
Respostas Adequadas	3,0

A seguir, são apresentados, para cada dimensão de análise, os critérios utilizados para verificar como foi considerada a somatória da pontuação que o aluno alcançou na dimensão de análise e sua relação com nível de adequação. Além disso, apresenta-se também, as matrizes de análises, os gráficos indicativos do nível de adequação global da explicação do aluno e a discussão dos resultados para cada dimensão de análise.

5.2.1 1ª Dimensão de análise - Natureza da Matéria

Considerou-se na primeira dimensão de análise um total de seis categorias, A, B, C, D, E e F, com explicações em nível submicroscópico, como descritas na metodologia. Dessa forma, considerando todas as explicações adequadas, o valor máximo que poderia ser alcançado por um aluno seria de 18 pontos (6 categorias com valor máximo de 3,0). Elaboraram-se, então, faixas de pontuação, apresentadas no Quadro 17, com os níveis de adequação correspondentes.

Quadro 17 - Nível de Adequação Global conforme faixa da somatória de pontuação na 1ª dimensão de análise.

Faixa de Somatória da Pontuação na dimensão de análise	Nível de Adequação da Explicação do Aluno
0	Respostas Inexistentes
1 a 7	Respostas Inadequadas
8 a 12	Respostas Parcialmente Adequadas
13 a 18	Respostas Adequadas

Nos Quadros 18, 19 e 20, são apresentadas, respectivamente, as matrizes de análises elaboradas para a 1ª dimensão de análise, para a 1ª, 2ª e 3ª séries do Ensino Médio.

Quadro 18 - Matriz de análise da 1ª série do Ensino Médio: 1ª dimensão de análise - Natureza da Matéria.

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	Instrumento 1 (pré-teste): Respostas às questões 1, 2, 3,4 e 5 - Alunos da 1ª série do Ensino Médio																															
			<div><div></div> Respostas Adequadas <div></div> Respostas Parcialmente Adequadas <div></div> Respostas Inadequadas <div></div> Respostas Inexistentes</div>																															
			Números dos Alunos																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Constituição da Matéria (Questão 1)	A Ideias Sobre o Átomo	A1																																
		A2																																
		A3																																
Modelo de Átomo e suas Partes (Questões 2 e 5)	B Modelo Representativo do Átomo	B1																																
		B2																																
		B3																																
		B4																																
	C Reconhecimento do Núcleo do Átomo	C1																																
		C2																																

(Continua)

(Continuação)

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	Instrumento 1 (pré-teste): Respostas às questões 1, 2, 3,4 e 5 - Alunos da 1ª série do Ensino Médio																																
			<div><div></div> Respostas Adequadas. <div></div> Respostas Parcialmente Adequadas <div></div> Respostas Inadequadas <div></div> Respostas Inexistentes</div>																																
			Números dos Alunos																																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Modelo de Átomo e suas Partes (questão 2)	D Reconhecimento da Eletrosfera	D1																																	
		D2																																	
Ideias do Vazio (Questão 3)	E Espaços Vazios entre Partículas	E																																	
Ideia de Movimento (Questão4)	F Movimento entre Partículas	F																																	

Quadro 19 - Matriz de análise da 2ª série do Ensino Médio: 1ª dimensão de análise - Natureza da Matéria.

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	Instrumento 1 (pré-teste): Respostas às questões 1, 2, 3,4 e 5 - Alunos da 2ª série do Ensino Médio																											
			<div><div></div> Respostas Adequadas <div></div> Respostas Parcialmente Adequadas <div></div> Respostas Inadequadas <div></div> Respostas Inexistentes</div>																											
			Números dos Alunos																											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Constituição da Matéria (Questão 1)	A Ideias Sobre o Átomo	A1																												
		A2																												
		A3																												
Modelo de Átomo e suas Partes (Questões 2 e 5)	B Modelo Representativo do Átomo	B1																												
		B2																												
		B3																												
		B4																												
	C Reconhecimento do Núcleo do Átomo	C1																												
		C2																												

(Continua)

(Continuação)

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	Instrumento 1 (pré-teste): Respostas às questões 1, 2, 3, 4 e 5 - Alunos da 2ª série do Ensino Médio																										
			<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																										
			Números dos Alunos																										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Modelo de Átomo e suas Partes (questão 2)	D Reconhecimento da Eletrosfera	D1																											
		D2																											
Ideias do Vazio (Questão 3)	E Espaços Vazios entre Partículas	E																											
Ideia de Movimento (Questão 4)	F Movimento entre Partículas	F																											

Quadro 20 – Matriz de análise da 3ª série do Ensino Médio: 1ª dimensão de análise - Natureza da Matéria.

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de explicação	Instrumento 1 (pré-teste): Respostas às questões 1, 2, 3,4 e 5 - Alunos da 3ª série do Ensino Médio																																
			<div><div></div> Respostas Adequadas <div></div> Respostas Parcialmente Adequadas <div></div> Respostas Inadequadas <div></div> Respostas Inexistentes</div>																																
			Números dos Alunos																																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Constituição da Matéria (Questão 1)	A Ideias Sobre o Átomo	A1																																	
		A2																																	
		A3																																	
Modelo de Átomo e suas Partes (Questões 2 e 5)	B Modelo Representativo do Átomo	B1																																	
		B2																																	
		B3																																	
		B4																																	
	C Reconhecimento do Núcleo do Átomo	C1																																	
		C2																																	

(Continua)

(Continuação)

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de explicação	Instrumento 1 (pré-teste): Respostas às questões 1, 2, 3,4 e 5 - Alunos da 3ª série do Ensino Médio																															
			<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																															
			Números dos Alunos																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Modelo de Átomo e suas Partes (questão 2)	D Reconhecimen to da Eletrosfera	D1																																
		D2																																
Ideias do Vazio (Questão 3)	E Espaços Vazios entre Partículas	E																																
Ideia de Movimento (Questão4)	F Movimento entre Partículas	F																																

Nas Figuras: 6, 7 e 8, são apresentados, respectivamente, os níveis de adequação global das explicações dos alunos de 1ª, 2ª e 3ª séries na 1ª dimensão de análise, seguidos dos resultados.

Figura 6 - Nível de Adequação Global das explicações dos alunos da 1ª série, na 1ª

Figura 7 - Nível de Adequação Global das explicações dos alunos da 2ª série.

Figura 8 - Nível de Adequação Global das explicações dos alunos da 3ª série.

Os resultados apontam que a visão em nível submicroscópico das explicações dos alunos sobre a estrutura da matéria variou entre os níveis inadequados e parcialmente adequados considerando alunos de 1ª (32), 2ª (27) e 3ª (32) séries do Ensino Médio.

Embora, esta análise tenha comparado grupos de alunos diferentes, entre as turmas, foi possível observar que de uma série para a outra houve redução nas explicações inadequadas. Estas se reduziram com uma representatividade de 34,4% (1ª série), 29,6% (2ª série) e 18,8% (3ª série). Quanto às respostas parcialmente adequadas, estas se mantiveram com um índice aproximado de 65,6% (1ª série), 66,7% (2ª série) e 72% (3ª série). O maior índice de explicações inadequadas na 1ª série pode, provavelmente, ser atribuído ao fato de que os alunos ainda não haviam estudado os conceitos submicroscópicos abordados nessa dimensão, por isso, apresentaram baixa noção sobre estes conceitos. Alguns alunos, apesar de terem manifestado alguma ideia, não apresentaram respostas estruturadas em seus modelos explicativos.

Da 2ª para a 3ª série, se observou um certo progresso em relação a elaboração de explicações parcialmente adequadas concluindo que os alunos, apesar de não apresentaram um ganho significativo em suas concepções, o número de inadequações se reduziu quando eles avançaram de uma série para a outra. Talvez, isso possa ser atribuído a um ensino que apresentou aos alunos os conceitos de forma fragmentada e possivelmente não estabeleceu relações conceituais entre o conceito prévio e o novo conceito. Por exemplo, verificou-se durante o estudo longitudinal que o modelo estrutural do átomo não foi utilizado pelos alunos de forma coerente para justificar a formação de íons. Eles apenas aplicaram uma regra para diferenciar cátion de ânion, mas não relacionaram a formação de íons a um modelo de átomo (CAAMAÑO, 2004).

Em um universo de 91 alunos, apenas um aluno da 2ª série e dois alunos da 3ª série exprimiram explicações adequadas, o que indicou pouca compreensão por parte dos alunos sobre os conceitos explorados nesta dimensão, sugerindo uma baixa efetividade do ensino.

Considerando as explicações dos alunos em cada categoria de análise, houve predomínio de explicações adequadas na categoria A (ideias sobre o átomo - constituição da matéria). A maioria dos alunos manifestou explicações do tipo: *"os átomos estão nas coisas, nas partículas, no nosso corpo, em tudo que*

possui massa". Pelo resultado, conforme apresentado no Quadro 57 (APÊNDICE C), aparentemente estes alunos concordaram com a visão de que a matéria seria formada por átomos.

Entre os alunos, os da 1ª série, apesar de apresentarem uma visão global inadequada na 1ª dimensão de análise, foram os que mais aceitaram o fato de a matéria ser constituída por átomos. Talvez porque estavam iniciando o Ensino Médio e a definição de matéria ser constituída por átomos estivesse mais recente em suas memórias, dado que no ensino Fundamental, alguns professores fazem essa abordagem.

Ao justificarem o fato de a matéria ser formada por átomos, as explicações dos alunos da 2ª série foram mais consistentes do ponto de vista submicroscópico, com frases do tipo: *"Sim, eu acredito, pois o átomo é formado por prótons, elétrons e nêutrons, e a junção de muitos átomos se forma a matéria"; "Acredito, pois os átomos são a menor partícula da matéria"; "Tudo só existe se um grande número de átomos estiver junto"; "Pois sem átomos não pode existir moléculas"*.

Os alunos da 3ª série fizeram mais associações sobre a existência de átomos na constituição de materiais relacionados ao seu cotidiano, tais como: tecidos, plásticos, tintas etc. Isto levou a pensar que os alunos extrapolaram, aplicando seus conhecimentos na interpretação do mundo que os cerca. Além disso, em seus comentários surgiram ideias do átomo como um modelo representativo da matéria: *"Sim acredito, pois a matéria não pode ser definida e sim imaginada como a imagem de átomo"*.

Explicações genéricas também surgiram, mas não envolveram a utilização do termo átomo. Os alunos usaram para justificar suas explicações ideias como: estudos realizados por cientistas, ou ainda, o fato de terem ouvido falar deste assunto em seus estudos escolares. Segundo Pozo (2009), "[...] os alunos costumam interpretar os fenômenos com base em um realismo ingênuo, para os quais, as coisas são de certa forma porque são assim [...]".

Destacaram-se entre as explicações dos alunos: *"Acredito que é assim, porque é"; "Eu acredito que é certo porque eu já estudei sobre isso"; "Acredito porque os cientistas estudaram a teoria escolhida antes de tudo"*.

Dentre os alunos que não concebiam a ideia de a matéria ser formada por átomos se encontraram justificativas do tipo: *"Não acredito, pois os cientistas*

estão sempre errados"; "Não acredito porque eu não acho que já tenha atingido este nível"; "Não conheço a teoria. "

Como escolha de um modelo representativo para o átomo, o modelo de Rutherford foi o mais apontado pelos alunos (75,8%), conforme foi mostrado no Quadro 58 (APÊNDICE C). Talvez os professores possam ter dado mais ênfase ao ensino deste modelo. No geral, apenas um aluno escolheu o modelo de Thomson (1ª série) e dez do total, escolheram o modelo de Bohr, com maior representatividade entre os alunos da 2ª série (cinco alunos). Doze alunos não fizeram nenhuma escolha.

Apesar de os alunos reconhecerem um modelo para o átomo, os mesmos cometem erros na identificação e definição de suas partes (núcleo e eletrosfera). O núcleo atômico foi identificado com mais facilidade pelos alunos do que a eletrosfera. Pode-se pensar que, o núcleo foi visto pelos alunos em outras disciplinas como "algo central", como por exemplo, na biologia quando os alunos estudam sobre a célula e acabam fazendo analogias e transpondo a ideia de núcleo celular para a estrutura do átomo.

Os resultados apontam que os alunos, apesar de reconhecerem o núcleo do átomo, o descrevem com dificuldade, usando termos como: átomo, partícula, próton, nêutron, molécula, elétron. Percebeu-se que ao usarem os termos da linguagem da química, cometem confusões. No caso do núcleo atômico, a maioria dos alunos usa o termo próton para defini-lo. Infere-se, portanto, que o aluno pensa nos constituintes do núcleo atômico quando os descreve.

No entanto, ao se dar algumas opções de escolhas para a definição do núcleo, como apresentado na questão 5 do (APÊNDICE B), os alunos da 1ª série e 2ª séries fizeram escolhas das frases A e C e os alunos da 3ª série, a frase B. Apenas, 12,1% dos alunos (onze do total de alunos), optaram pela frase correta (D), sendo que os alunos da 3ª série foram os que mais a escolheram.

Muitos alunos (33% do total) descreveram o núcleo de forma incorreta, como sendo formado por um grupo de elétrons, prótons e nêutrons juntos. Os resultados apontaram que na visão dos alunos, as partículas constituintes do átomo estão todas juntas dentro do núcleo atômico. Eles não diferenciaram as partículas quanto a sua natureza elétrica e tão menos reconheceram a relação entre elas em um sistema atômicamente neutro.

A eletrosfera, como indicado no Quadro 58 (APÊNDICE C), foi pouco reconhecida pelos alunos, pois a maioria não a identificou ou a identificou de forma incorreta (92,3% do total). Nenhum aluno da 1ª série indicou a eletrosfera corretamente e apenas dois da 2ª série e cinco da 3ª série, fizeram uma indicação correta. Vários termos foram utilizados pelos alunos ao se referirem a eletrosfera, tais como: conjunto, corrente, plasma, forma, camada protetora, parede celular, sendo que estes termos estiveram mais presentes entre os alunos da 1ª série. Este fato, pode estar ligado as concepções dos alunos sobre a membrana celular, as quais são desenvolvidas nas aulas de biologia, momento em que os alunos transferem essa ideia para interpretar a eletrosfera do átomo, que pode ser percebida por eles, como "algo" que envolve o átomo (FRANÇA,2009). Os alunos também identificaram a eletrosfera utilizando o termo elétron, o que pode estar relacionado com a semelhança existente entre o nome destes dois termos e pelo fato dos elétrons se posicionarem na eletrosfera.

O elétron foi identificado pelos alunos de forma incorreta (42,8% do total). Eles se referiram ao mesmo como: partícula, próton, nêutrons, íon, átomo, núcleo, células, nucléolos, anéis, membrana. Novamente, foi possível verificar a dificuldade dos alunos quando usaram os termos que designam as partículas em um modelo atômico. Dos termos empregados para identificar o elétron, a palavra próton foi a mais empregada, o que reforçou a nossa visão de que, os alunos tiveram dificuldade de reconhecer a natureza elétrica dessas partículas, não associando a carga elétrica das mesmas à sua identificação.

Sugere-se que no ensino do modelo atômico e do reconhecimento das partes e partículas do átomo, o professor invista um tempo maior, principalmente familiarizando o aluno com o nome das partículas e a relação destas com sua natureza elétrica. O desenvolvimento histórico da descoberta das partículas subatômicas pode contribuir para o reconhecimento e a identificação das mesmas.

Analisando as concepções dos alunos sobre a existência de espaços vazio entre as partículas de uma substância, foram identificados poucos alunos do total que fizeram estas considerações: 17,6% para o sistema líquido, 11% para o sistema gasoso e 17,6% para o estado sólido, de acordo com os dados apresentado no Quadro 59 (APÊNDICE C). Neste estudo, independente do estado físico do material, foi difícil para os alunos considerarem a existência do

vazio entre as partículas do material. Segundo Pozo e Crespo (2000), a ideia do vazio, normalmente é utilizada com mais frequência para representar o estado gasoso e em menor escala para os sólidos, situando os líquidos em posição intermediária.

Verificou-se que para os sistemas representados por: um copo com água, um balão contendo gás hélio e um pedaço de fio de cobre houve o predomínio de explicações do tipo - um copo com água: *"Não há espaços entre as partículas. Estas estão muito juntas umas às outras e não pode haver nada"*.

Os alunos consideraram que entre as partículas de um líquido existe um contínuo (51,6% do total de alunos) conforme mostrado no Quadro 59 (APÊNDICE C). Segundo Treagust (2009), os estudantes acreditam que as partículas, que constituem a matéria, estão em contato umas com as outras, não existindo espaço vazio entre elas. Pozo e Crespo (2000), argumentam que por de trás da ideia de que "[...] entre as partículas não existe nada, se oculta uma concepção contínua da matéria, na qual as partículas estão tão próximas umas das outras que não há nada, nem se quer o vazio [...]". De acordo com os autores, essa ideia é consistente com a máxima de Aristóteles "[...]a natureza abomina o vácuo [...]" (POZO, 2009).

Em relação ao sistema gasoso (um balão contendo gás Hélio) houve predomínio (58,2% do total de alunos) de explicações do tipo: *"Existe ar que preenche os espaços livres entre as partículas"*.

Quando a matéria se encontra no estado gasoso, a aceitação da ideia do vazio, ainda que complexa para os alunos é a mais provável de ocorrer. Ao interpretarem o gás, considerando a existência de ar entre suas partículas, poderiam estar relacionando, ao fato de que o gás se mistura com o ar na maioria das situações cotidianas (POZO; CRESPO, 2000).

Em relação ao sistema sólido (um pedaço de fio de cobre) houve um predomínio (37,4% do total de alunos) de explicações do tipo: *"Existem mais partículas do mesmo material"*.

Quando a matéria adota uma aparência mais compacta, a percepção da descontinuidade parece se tornar mais complexa. Segundo Pozo e Crespo (2000), este fato, pode estar relacionado à aparência perceptiva que adotam dos sólidos: entidades compactas, densas e contínuas.

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os estudos dos autores Pozo e Crespo (2000) e corroboram para que se possa afirmar que os alunos interpretam a estrutura da matéria a partir das propriedades macroscópicas da mesma, com ideias apoiadas naquilo que podem ver. Pouco se utilizam de um modelo científico para comporem suas explicações. Raras vezes, empregam concepções relacionadas à descontinuidade da matéria para interpretar o que ocorre entre as partículas de um sistema sólido, líquido e gasoso. Pensar na existência de espaços vazios entre as partículas parece ser contra intuitivo aos alunos.

Na análise das concepções dos alunos sobre a existência de movimento entre as partículas constituintes dos materiais, considerando os mesmos sistemas descritos anteriormente, foram identificadas as concepções: - no sistema um copo com água encontrou-se que a maioria dos alunos, ou seja, 48,3% do total (QUADRO 60, APÊNDICE C), ao explicarem sobre o movimento das partículas em um sistema líquido usaram o argumento: *"As partículas somente se movem se agitarmos o material"*.

A ideia do movimento para estes alunos está condicionada a ação de fatores externos como a "agitação" do sistema. Tal aspecto vem ao encontro dos resultados apresentados em outros estudos, como os de Adadan (2010), no qual verificou que os alunos consideram que as partículas de um sistema só se movem e se agitam dependente de um agente externo (uma chama, corrente de ar, etc.) - sistema (balão contendo gás hélio) 41,7% do total de alunos usaram como argumento: *"As partículas do material estão sempre se movimentando"*.

O resultado revelou boa compreensão dos alunos sobre a ideia de movimento das partículas de um gás, dado que em outros estudos (Treagust et.al, 2009), encontra-se que os alunos descrevem a difusão da fumaça de um cigarro, com movimento de zigue-zague das partículas devido à presença de moléculas de ar que as deslocam de forma aleatória, - sistema (um pedaço de fio de cobre) os alunos da 1ª e 3ª séries, com um total de 40,6% e 37,5% de explicações, respectivamente, usam como argumento: *"As partículas estão sempre paradas e imóveis"*. No entanto, os alunos da 2ª série (44,4%) consideram que as mesmas estão sempre em movimentação.

No conjunto da 1ª dimensão de análise observou-se que existe o predomínio de uma visão parcialmente adequada sobre os aspectos

submicroscópicos, relacionados à natureza da matéria, com uma pequena progressão da 1ª para a 3ª série, conforme é mostrado nas Figuras 6, 7 e 8. No entanto, ao se olhar para cada categoria de análise na dimensão (QUADRO 21) verificou-se que o conhecimento sobre a Natureza da Matéria, com ideias sobre sua constituição, reconhecimento do modelo de átomo e de suas partes, estão presentes nas concepções dos alunos. No entanto, o reconhecimento da eletrosfera e do núcleo com a identificação correta de suas partículas bem como, a ideia da existência de espaços vazios e movimento das partículas constituintes das substâncias, não fazem parte das explicações dos alunos.

O Quadro 21 apresenta uma síntese, quando se olhou para cada categoria na matriz de análise da 1ª dimensão e se considerou o nível de adequação que mais predominou entre as explicações dos alunos.

Quadro 21 - Nível de adequação das explicações dos alunos por categoria na 1ª dimensão de análise.

Nível de Adequação Predominante das Respostas por Categoria				
<div> Respostas Adequadas Respostas Parcialmente Adequadas Respostas Inadequadas Respostas Inexistentes </div>				
Modelos Explicativos em nível Submicroscópico	Categorias	1ª série	2ª série	3ª série
	A Ideias sobre a constituição da matéria
	B Modelos representativos para o átomo
	C Reconhecimento do núcleo atômico
	D Reconhecimento da eletrosfera e do elétron
	E Espaços vazios entre as partículas
	F Movimento entre as partículas

5.2.2 2ª dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria.

Considerou-se na segunda dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria, um total de quatro categorias, assim divididas: G, H (H1 e H2), I e J (J1 e J2), com explicações em nível macroscópico (I, J1 e J2) e explicações em nível submicroscópico (G, H1 e H2), conforme descritas na metodologia (QUADRO 10). Critérios para classificar as explicações dos alunos nas categorias na 2ª dimensão de análise.

Dessa forma, considerando todas as explicações adequadas, para cada um dos níveis de explicação (macroscópico e submicroscópico) o valor máximo que poderia ser alcançado por um aluno seria de nove pontos (3 categorias com valor máximo de 3,0 pontos). Foram elaboradas, então, faixas de pontuação tanto para as explicações em nível macroscópico quanto as em nível submicroscópico. O Quadro 22 apresenta como o nível de adequação da explicação foi considerado com base nos critérios mencionados.

Quadro 22 - Nível de adequação das explicações dos alunos, tanto em nível macroscópico, quanto em nível submicroscópico da 2ª. dimensão de análise.

Faixa de Somatória da Pontuação na dimensão de análise	Nível de Adequação global da Explicação do Aluno (explicações em nível macroscópico e submicroscópico)
0	Respostas Inexistentes
1 a 3	Respostas Inadequadas
4 a 6	Respostas Parcialmente Adequadas
7 a 9	Respostas Adequadas

Nos Quadros 23, 24 e 25 apresentam-se respectivamente, as matrizes elaboradas para a 2ª dimensão de análise para a 1ª, 2ª e 3ª séries.

Quadro 23 - 2ª dimensão de análise: Utilização de ideias sobre a natureza elétrica da Matéria em situações do cotidiano - Alunos da 1ª série.

Categoria de Análise		Tipo de explicação	Instrumento Q1: Respostas Dadas às Questões: 6 - 7 e 8 - Alunos da 1ª série do Ensino Médio																															
			<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																															
			Números dos Alunos																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
G- Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x explicação ao nível sub microscópico, questão 6).	G1																																	
	G2																																	
H- Explicação ao nível submicroscópico de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. (Questão 7 e 8)	H1																																	
	H2																																	
I -Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x explicação em nível macroscópico) (questão 6)	I1																																	
	I2																																	
J -Explicação ao nível macroscópico-de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. (Questão 7/8)	J1																																	
	J2																																	

Quadro 24 - 2ª dimensão de análise: Utilização de ideias sobre a natureza elétrica da Matéria em Situações do Cotidiano - Alunos da 2ª série.

Categoria de Análise	Tipo de Explicação	Instrumento Q1: Respostas Dadas às Questões 6,7 e 8 - Alunos da 2ª série do Ensino Médio																										
		<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																										
		Números dos Alunos																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Gramas Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x explicação ao nível sub microscópico) (Questão 6)	G1																											
	G2																											
H Explicação em nível submicroscópico de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. (Questão 7 e 8)	H1																											
	H2																											
I Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x explicação em nível macroscópico) (questão 6)	I1																											
	I2																											
J Explicação em nível macroscópico de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. (Questão 7 e 8)	J1																											
	J2																											

Quadro 25 - 2ª dimensão de análise - utilização de ideias sobre a natureza elétrica da matéria em situações do cotidiano - alunos da 3ª. Série.

Categoria de Análise	Tipo de Explicação	Instrumento Q1: Respostas Dadas às Questões 6,7 e 8 - Alunos da 3ª série do Ensino Médio																															
		<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																															
		Números do Alunos																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
G Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x explicação ao nível sub microscópico) (Questão 6).	G1																																
	G2																																
H Explicação ao nível submicroscópico de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. (Questão 7/8).	H1																																
	H2																																
I Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x explicação em nível macroscópico) (questão 6).	I1																																
	I2																																
J Explicação em nível macroscópico de uma situação considerando a natureza elétrica da matéria. Questão 7/ 8.	J1																																
	J2																																

Nas Figuras 9, 11, 13 e nas 10, 12, e 14) se apresentam, respectivamente, os níveis de adequação global das explicações dos alunos de 1ª, 2ª e 3ª séries na 2ª dimensão de análise, para explicações em nível submicroscópico e macroscópico, seguidas dados resultados.

Figura 9 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 1ª série.

Figura 10 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 1ª série.

Em uma primeira análise foi possível perceber que 50% dos alunos da 1ª série (32 alunos) não apresentaram consistência em suas concepções sobre os

aspectos da natureza elétrica da matéria, pois manifestaram explicações tanto em nível macroscópico quanto submicroscópico inadequadas. Poucos alunos (37,5%) se posicionaram de forma definida, quanto à sua visão dentro da dimensão. Deste total de alunos, os alunos de números 4, 6, 7, 12, 17, 21, 22, forneceram explicações em nível submicroscópico com predomínio de respostas inadequadas. Outros alunos, (11, 14, 15, 25 e 31), forneceram na maioria, explicações em nível macroscópico e um aluno (de número 26) não apresentou concepções sobre a natureza elétrica da matéria.

Como apontam os dados, a visão submicroscópica sobre a formação de íons, a condutibilidade elétrica e a movimentação de elétrons em uma corrente elétrica, são aspectos que não foram considerados pelos alunos da 1ª série, ou porque não tiveram a oportunidade de estudar sobre esses conceitos, ou porque a aprendizagem dos mesmos não tenha sido significativa, não fazendo sentido à eles. Tal fato, pode ter culminado no alto índice de respostas inadequadas.

Figura 11 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópicos dos alunos da 2ª série.

Figura 12 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 2ª série.

Em relação aos alunos da 2ª série, 74% apresentaram inconsistência em suas visões sobre a natureza elétrica da matéria, com explicações tanto em termos macroscópicos quanto submicroscópicos com predomínio de respostas inadequadas. Poucos alunos (26% do total) apresentaram uma definição de ideias em termos macroscópicos ou submicroscópicos. Entre estes se destacam os alunos de números 14 e 24, com visão submicroscópica inadequada e os de números 8, 10, 12, 13, 18 e 26, com argumentos macroscópicos inadequados, como apontam as Figuras 11 e 12.

Comparando esses alunos com os da 1ª série foi interessante perceber que a visão sobre a natureza elétrica da matéria dos mesmos se mostrou mais problemática. Isto, nos levou a inferir de que as ideias em nível submicroscópico relacionadas à estrutura da matéria não foram assimiladas por estes alunos, quando da passagem da 1ª para a 2ª série. Os mesmos não aplicaram conceitos sobre a estrutura do átomo para justificarem a formação de íons, condutibilidade elétrica e movimentação de elétrons.

Figura 13 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 3ª série.

Figura 14 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 3ª série.

Considerando os alunos de 3ª série (32 alunos) a inconsistência das explicações também foi verificada. 87,5% dos alunos apresentaram tanto explicações em nível macroscópico quanto em nível submicroscópico, com mais incidência do que os alunos da 2ª e 3ª séries. Dois dos alunos (3 e 24) mostraram uma visão em nível submicroscópico em relação à natureza elétrica da matéria, ainda que de forma inadequada e um aluno (22) com argumentos em nível

macroscópico, como apontam as Figuras 13 e 14. Os resultados puseram a vista que à medida que os alunos avançaram nas séries, ideias sobre a natureza elétrica da matéria foram se tornando mais críticas para os mesmos. Isto levou a considerar que a aprendizagem destes conceitos não foi incorporada pelos alunos à medida em que o tempo passou. Aparentemente tais concepções ficaram ainda mais difíceis de serem abordadas pelos mesmos nas suas explicações. No conjunto da 2ª dimensão de análise se observou, pelos dados obtidos, que existiu o predomínio do nível inadequado das explicações dos alunos de 1ª a 3ª séries, considerando tanto as explicações em nível macroscópico quanto as em nível submicroscópico.

Considerando cada categoria de análise na 2ª dimensão, a utilização de conhecimentos sobre a estrutura da matéria não foi efetiva, pois os alunos não conseguiram acioná-las para explicar o comportamento elétrico da matéria. Também não apresentam em suas explicações, indícios de que reconhecem que o átomo pode perder ou ganhar elétrons como mostram os dados do (QUADRO 61, APENDICE C). Tal fato se justifica pois os alunos não explicaram adequadamente como ocorreu a condução de corrente elétrica e a formação de íons, numa solução aquosa de cloreto de sódio na geração de energia elétrica, conforme indicam os dados do (QUADRO 62, APÊNDICE C).

No Quadro 26 apresenta-se o nível de adequação das explicações dos alunos que mais predominou em cada categoria na 2ª dimensão de análise.

Quadro 26 - Nível de adequação das explicações dos alunos por categoria na 2ª dimensão de análise.

Nível de adequação das respostas				
<div> Respostas Adequadas Respostas Parcialmente Adequadas </div> <div> Respostas Inadequadas Respostas Inexistentes </div>				
Modelos Explicativos sobre a Natureza Elétrica da Matéria	CATEGORIAS	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE
	G Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x nível de explicação) - explicações em nível submicroscópico			
	H1 Explicações que envolvem ideias sobre a transformação química, na qual ocorre a perda de elétrons. Uma situação cotidiana. Explicações em nível submicroscópico			
	H2 Explicações que envolvem ideias sobre a movimentação dos elétrons para explicar uma situação cotidiana. Explicações em nível submicroscópico			
	I Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação x nível de explicação). Envolve explicações em nível macroscópico.			
	J1 Explicações que envolvem ideias sobre a transformação química que ocorre com perda de elétrons numa situação cotidiana. Explicações em nível macroscópico.			
	J2 Explicações que envolvem ideias sobre a movimentação dos elétrons para explicar uma situação cotidiana. Explicações em nível macroscópico.			

Aprofundando a análise, para verificar como os alunos articularam suas ideias sobre a natureza elétrica da matéria, foi solicitado que escolhessem entre algumas situações: A- Derretimento de geleiras; B - Portão de ferro corroído; C - Encher com ar uma bola de futebol; D- Formação de raios na atmosfera; E- papeizinhos picados atraídos por uma caneta atritada, aquela ou aquelas que se relacionavam ao fato de: "Um átomo pode perder elétrons".

A maioria dos alunos, principalmente da 1ª e 2ª séries (46,9% e 55,5% respectivamente) escolheram como situação representativa da perda de elétrons o "portão de ferro corroído", conforme os dados apresentados no (QUADRO 61, APÊNDICE C). A situação "papeizinhos picados atraídos por uma caneta quando

atritada" foi escolhida por 71,9% dos alunos da 3ª série. Dentre as explicações apresentadas pelos alunos foi encontrado: *"Os papeizinhos picados são atraídos pela caneta quando atritada, pois passa elétrons de um para o outro"; "A caneta quando atritada com algo perde ou ganha elétrons e essa eletrização atrai o papel"; "Quando atritamos a caneta em uma calça, por exemplo, a caneta ganha uma carga positiva ou negativa, perdendo ou ganhando elétrons, isso causa a atração dos papeis"; "A natureza procura equilíbrio, quando atritados dois materiais, os elétrons da eletrosfera foi transferido de um material para outro".*

Tais explicações podem estar relacionadas ao fato de que, nesta fase do ensino, o currículo de física enfatizou os conceitos relacionados à eletricidade no cotidiano, e pode ter contribuído para que esses alunos fizessem opção dessa situação e, alguns explicassem melhor esta situação.

Alguns alunos (1ª série, 53,1%, 2ª série 22,2% e 3ª série 18,7%) como mostram os dados do (QUADRO 61, APENDICE C) não fizeram escolhas, o que nos levou a pensar, como foi difícil para os mesmos estabelecerem relações entre as ideias sobre a estrutura da matéria e sua natureza elétrica. Tais dificuldades podem estar relacionadas à pouca ênfase que foi dada pelo ensino para utilização do modelo estrutural da matéria para explicar questões do cotidiano.

Ocorreram entre os alunos explicações em nível macroscópico com a presença de concepções alternativas animistas e substancialistas: *"O ferro vai perdendo sua pele"; "O ferro vai desgastando e ficando velho"; "O papel picado vai se desfazendo"; "A matéria que compõem o portão enfraquece"; "O portão fica podre e se desmancha em pedaço, como um ferro enferrujado".*

No entanto, a presença dessas concepções foi diminuindo da 1ª para a 3ª série, o que implicou em um ganho reflexivo na elaboração de explicações. Entre os alunos da 1ª série, apenas dois alunos forneceram uma explicação em nível submicroscópico que deu sentido a ideia de perda de elétrons: *"O portão com o tempo vai enferrujando e perdendo coloração".*

Pela análise das respostas dos alunos para a situação A (escolha incorreta), não exclusiva, os alunos associaram a perda de elétrons com mudança de estado (derretimento das geleiras), estabelecendo uma analogia. Para a situação B, os alunos associaram a perda de elétrons à formação da ferrugem e ao portão, mas nenhum aluno atribuiu a causa da perda de elétrons

ao átomo de ferro presente na composição do portão. Desta forma, pode-se inferir que o aluno não pensou na composição submicroscópica da matéria para explicar um fenômeno que lhe seria tão familiar, como a oxidação do ferro, mas apenas visualizou o fenômeno de acordo com seu aspecto macroscópico (CAAMAÑO, 2004)

Quando se analisaram as concepções dos alunos sobre o que ocorreu com os átomos de prata no escurecimento de uma "correntinha de prata", entre as explicações apresentadas por eles, destacaram-se concepções associadas a fatores, como: exposição a variações de temperatura, umidade, poluição, chuva, suor do corpo da pessoa que utiliza o objeto, tipo do material que compõe a "correntinha", formação da ferrugem, desgaste, envelhecimento, desbotamento, decomposição. Algumas frases caracterizam esta análise e foram categorizadas conforme mostra-se no (QUADRO 63, APÊNDICE C): *"A corrente se ela não for de prata ou aço inox, conforme com o banho ela vai perdendo a cor e fica com ferrugem"; "A correntinha está sofrendo com a ação do tempo, chuva ou calor e sofre mudanças, pois a prata é um material muito fino"; "A correntinha escurece devido ao contato com a pele e suor"; "A correntinha escurece porque ao passar o tempo a prata vai se desgastando e enferrujando"; "O ar possui água, como a correntinha fica exposta muito tempo a ele, acaba enferrujando e escurecendo".*

Nas explicações dos alunos foi possível perceber que as mesmas estão relacionadas com experiências de suas vidas. O fato de presenciarem no cotidiano a formação da ferrugem pode ser que, na ideia dos alunos, estes fizeram a transposição dessa visão aparente da formação da ferrugem para proporem uma explicação para o escurecimento da "correntinha". Existe, portanto, grande influência daquilo que eles observaram com a explicação que forneceram e, dessa forma, associaram a formação da ferrugem (para eles um fenômeno comum), com o escurecimento que ocorreu ao objeto de prata (POZO, 2000). Dessa forma, seria importante que o ensino problematizasse as ideias de senso comum que os alunos manifestam, para que eles possam refletir sobre elas, para que não se constituam em barreiras para a aprendizagem de conceitos.

Considerando, ainda as ideias dos alunos sobre a natureza elétrica da matéria relacionada à movimentação de elétrons, foi solicitado aos alunos explicações sobre o fato de uma lâmpada acender ou não em duas situações:

quando os eletrodos de um aparelho de condutibilidade elétrica são imersos em um sistema contendo água e sal e outro contendo água e açúcar.

Muitas das explicações dos alunos representaram concepções alternativas, indo, por exemplo, ao fato de a lâmpada acender, tendo como causa o sistema material (gerador, lâmpada, fios) ou a mistura das substâncias, como apontam os dados do (QUADRO 62, APÊNDICE C). Algumas explicações são exemplificadas: *"Quando tem energia tem luz e quando não tem energia não tem luz."*; *"O açúcar é doce e junto com a água não gera energia. Já o sal e água gera energia, um pouco de energia"*; *"Houve essa condução de energia, porque a água pode ter entrado em contato com o fio fazendo assim com que a lâmpada acenda"*; *"O sal é bom condutor de energia o açúcar não"*.

Nenhum aluno explicou o fenômeno de forma adequada em nível submicroscópico. Os dados sugeriram que a ideia da formação de íons, quando na dissolução de cloreto de sódio em água, não esteve presente nas concepções dos alunos (CAAMÄNO, 2004; FRANÇA, 2009). A ideia de que os elétrons se movimentam no sistema através do fio metálico e não na solução também não foram explicitadas pelos alunos, mas o contrário, quando um aluno argumentou: *"A corrente elétrica é o andamento ordenado de elétrons, havendo eletrização, o que aconteceu com o sistema sal e água. No sistema água e açúcar pode ter ocorrido troca de elétrons, mas não com a mesma intensidade devido à resistência do açúcar"*.

5.2.3 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas

Considerou-se na 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter partículas, num total de cinco categorias, K, L, M, N, O, divididas como categorias das explicações em nível macroscópico (N, O) e categorias das explicações em nível submicroscópico (K, L, M), conforme descrito na metodologia (QUADRO 11).

Dessa forma, considerando todas as explicações adequadas para as respostas em nível submicroscópico, o valor máximo que poderia ser alcançado por um aluno seria de 9 pontos (3 categorias com valor máximo de 3,0 pontos)

e para explicações em nível macroscópico, 6 pontos (2 categorias com valor máximo de 3,0 pontos).

Elaboraram-se, então, faixas de pontuação, tanto para as explicações em nível macroscópico quanto as em termos submicroscópico. Nos Quadros 27 e 28, é mostrado como se considerou o nível de adequação da explicação do aluno, com base nos critérios mencionados.

Quadro 27 - Indicação do nível de adequação das explicações dos alunos em nível submicroscópico na 3ª dimensão de análise.

Faixa de Somatória da Pontuação na dimensão de análise	Nível de Adequação das Explicações do Aluno em Nível Submicroscópico
0	Respostas Inexistentes
1 a 3	Respostas Inadequadas
4 a 6	Respostas Parcialmente Adequadas
7 a 9	Respostas Adequadas

Quadro 28 - Indicação do nível de adequação dos alunos das explicações em nível macroscópico na 3ª dimensão de análise.

Faixa de Somatória da Pontuação na dimensão de análise	Nível de Adequação das Explicações do Aluno em Nível Macroscópico
0	Respostas Inexistentes
1 a 2	Respostas Inadequadas
3 a 4	Respostas Parcialmente Adequadas
5 a 6	Respostas Adequadas

Na sequência são apresentadas as Matrizes de Análises (QUADROS 29, 30 e 31), respectivamente para a 1ª, 2ª e 3ª séries, elaboradas para a 3ª dimensão de análise, bem como, os gráficos que ilustram o nível de adequação das explicações (submicroscópico e macroscópico) e, a discussão dos resultados.

Quadro 29 - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Moleculares - Alunos da 1ª. Série.

Conhecimen tos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	InstrumentoQ1: Respostas Dadas às questões 10, 11 e 12 - Alunos da 1ª série do Ensino Médio																															
			<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																															
			Números dos Alunos																															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Rearranjo entre os átomos em uma transformação química	K Interação entre os átomos	K1																																
		K2																																
Interações entre as partículas (visão submicroscópica).	L Aumento do volume da água	L																																
	M Volatilidade do álcool	M																																
Interações entre as partículas (visão em nível macroscópico).	N Aumento do volume da água	N																																
	O Volatilidade do álcool	O																																

Quadro 30 - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Moleculares - Alunos da 2ª. Série.

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	InstrumentoQ1: Respostas Dadas às questões 10, 11 e 12 - Alunos da 2ª série do Ensino Médio																										
			<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																										
			Números dos Alunos																										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Rearranjo entre os átomos em uma transformação química	K Interação entre os átomos	K1																											
	K2																												
Interações entre as partículas (visão submicroscópica).	L Aumento do volume da água	L																											
	M Volatilidade do álcool	M																											
Interações entre as partículas (visão em nível macroscópico).	N Aumento do volume da água	N																											
	O Volatilidade do álcool	O																											

Quadro 31 - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Moleculares - Alunos da 3ª. Série.

Conhecimentos Explorados	Categorias de Análise	Tipo de Explicação	InstrumentoQ1: Respostas Dadas às questões 10, 11 e 12 - Alunos da 2ª série do Ensino Médio																																	
			<div><div></div>Respostas Adequadas<div></div>Respostas Parcialmente Adequadas<div></div>Respostas Inadequadas<div></div>Respostas Inexistentes</div>																																	
			Números dos Alunos																																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
Rearranjo entre os átomos em uma transformação química	K Interação entre os átomos	K 1																																		
		K 2																																		
Interações entre as partículas (visão submicroscópica).	L Aumento do volume da água	L																																		
	M Volatilidade de do álcool	M																																		
Interações entre as partículas (visão em nível macroscópico).	N Aumento do volume da água	N																																		
	O Volatilidade de do álcool	O																																		

Nas Figuras 15, 17, 19 e nas 16, 18 e 20, são apresentados, respectivamente, os níveis de adequação global das explicações dos alunos de 1ª, 2ª e 3ª séries na 3ª dimensão de análise, para explicações em nível submicroscópico e macroscópico.

Figura 15 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 1ª série.

Figura 16 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 1ª série.

As Figuras 15 e 16 mostram que, entre os alunos da 1ª série, a visão sobre as interações intra e inter partículas na explicação dos fenômenos, não foram consistentes, pois a maioria (97% do total) dos alunos apresentou argumentos tanto submicroscópicos quanto macroscópicos para explicarem fenômenos, na maioria com explicações inadequadas. Isto implica que os alunos apresentam dificuldade para interpretar os fenômenos, tais como, o que ocorre com os átomos presentes nos reagentes e produtos em uma transformação química, o aumento do volume da água na mudança de estado físico de líquida para sólida, a volatilidade do álcool em relação à da água. Poucos alunos utilizaram conceitos sobre forças de interações intra e inter partículas em suas justificativas.

Conforme mostra a figura 15, do total de alunos (32) nenhum aluno apresentou uma explicação adequada e parcialmente adequadas, somente ocorreram explicações em nível submicroscópico com predomínio de inadequações. Apenas um aluno apresentou uma visão definida, se posicionando somente com a explicação em nível macroscópico, ainda que parcialmente adequada, do tipo: *"Quando a água se solidifica, acaba aumentando o volume, ocorre uma expansão"*.

Figura 17 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 2ª série.

Figura 18 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 2ª série.

Entre os alunos da 2ª série, a visão sobre as interações intra e inter partículas também não foram consistentes, pois a maioria (70,4% do total) dos alunos apresentou explicações tanto em nível macroscópico quanto em nível submicroscópico com predomínio de inadequações como mostra os (FIGURAS 17 e 18). Isto levou a inferir, comparando com os resultados da 1ª série, que estes alunos, mesmo expostos aos conceitos submicroscópicos em relação à estrutura da matéria, não os utilizaram na explicação dos fenômenos propostos nessa dimensão.

Do total destes alunos da 2ª série (27), cinco apresentaram somente uma visão em nível submicroscópico com explicações inadequadas. Apenas um aluno apresentou explicação em nível macroscópico considerada adequada, para explicar a volatilidade do álcool em relação à da água, do tipo: *"Talvez pelo fato de a temperatura de ebulição do álcool ser menor do que a da água. E na mão o álcool recebe calor com mais facilidade do que a água e evapora com mais rapidez"*.

Figura 19 - Nível de Adequação Global das explicações em nível submicroscópico dos alunos da 3ª série.

Figura 20 - Nível de Adequação Global das explicações em nível macroscópico dos alunos da 3ª série.

A visão sobre as interações intra e inter partículas entre os alunos da 3ª série também não foi consistente, pois a maioria (81,2% do total) dos alunos apresentou explicações em nível macroscópico e também em nível submicroscópico com predomínio de inadequações como se mostrou nas Figuras 19 e 20). Apenas um aluno desta série pode ser classificado com explicação em nível macroscópico adequada, dentro da dimensão de análise, embora também tenha apresentado explicação em nível submicroscópico

inadequada, o que demonstra a dificuldade deste aluno em assumir explicações que superem uma visão aparente dos fenômenos.

Estes resultados fizeram inferir que mesmo após o ensino de conceitos submicroscópicos sobre a estrutura da matéria, a dificuldade de os alunos utilizarem estes conceitos na explicação de fenômenos ainda persiste.

Cinco dos alunos da 3ª série apresentaram somente concepções em nível submicroscópico e inadequadas, e dentre eles apenas um argumentou: *"Quando a água está no estado sólido suas partículas estão mais unidas, o que provoca aumento do volume da água"*.

No conjunto da 3ª dimensão de análise, os dados apontam que os alunos da 1ª série, quando comparados aos da 2ª e 3ª séries, apresentaram explicações em nível submicroscópico sempre inadequadas. Quanto aos alunos da 2ª e da 3ª série, foi possível observar argumentos submicroscópicos parcialmente adequados, o que levou a pensar que, eles possam estar elaborando modelos explicativos em nível submicroscópicos.

Ao se olhar para cada categoria dentro da dimensão de análise se percebeu o predomínio de explicações inadequadas entre os alunos da 1ª série, quando manifestavam ideias sobre o que ocorria com os átomos dos reagentes em uma transformação química. No entanto, ideias sobre forças eletrostáticas entre as partículas constituintes das substâncias na explicação do comportamento da água durante a mudança de estado físico e a volatilidade do álcool em relação à da água, foi ausente, entre as explicações dos alunos em todas as turmas.

Os alunos da 2ª série foram os que mais reconheceram que em uma transformação química os átomos se conservam e se rearranjam, talvez, por estarem nessa fase do ensino, estudando sobre os conceitos relacionados as ligações químicas. Quanto à visão em nível macroscópico, apesar de os alunos utilizarem explicações para justificarem os fenômenos, as mesmas foram inadequadas. No Quadro 32 é explicitada a visão do nível de adequação dos alunos nesta dimensão em cada uma das categorias.

Quadro 32 - Nível de adequação das explicações dos alunos por categoria na 3ª dimensão de análise

Nível de adequação das respostas				
<div> <div></div> Respostas Adequadas <div></div> Respostas Parcialmente Adequadas <div></div> Respostas Inadequadas <div></div> Respostas Inexistentes </div>				
Pré-teste: Respostas dos Alunos para as Questões (10,11 e 12)				
Modelos explicativos envolvendo ideias sobre interações intra e inter partículas.	CATEGORIAS	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE
	K Interação entre os átomos em uma transformação química.			
	L Aumento do volume da água na mudança de estado físico (Explicações em nível submicroscópico).			
	M Volatilidade do álcool em relação à da água (Explicações em nível submicroscópico).			
	N Aumento do volume da água na mudança de estado físico (Explicações em nível macroscópico).			
	O Volatilidade do álcool em relação à da água (Explicações em nível submicroscópico).			

Em uma segunda análise, considerando esta 3ª dimensão, para avaliar a ideia dos alunos sobre o que teria acontecido com as partículas dos reagentes quando ocorria uma transformação química, foi solicitado que os mesmos escolhessem, entre algumas opções aquela que melhor correspondia às suas concepções:

- A- ocorrem quebras das ligações entre os átomos das substâncias iniciais e estas desaparecem;
- B- ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e as substâncias modificam a aparência, mas continuam as mesmas;
- C- ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e formação de novas substâncias;
- D- as substâncias iniciais apenas evaporam sem alterar as ligações entre os átomos.

Alguns alunos optaram pela situação C, 46,9% (1ª série), 63% (2ª série) e 34,4%(3ª série), demonstrando entendimento quando pensavam sobre o que ocorria com os átomos dos reagentes em uma transformação química, como indicam os dados no (QUADRO 64, APÊNDICE C).

Apesar disso, os dados revelaram que os alunos da 3ª série, optaram menos por esta escolha do que os alunos das outras séries. Isto gerou deduções sobre se, ao longo da escolaridade, esta concepção foi perdendo status nas concepções dos alunos. Os alunos da 2ª série foram os que mais optaram por uma escolha coerente, o que pode estar ligado ao fato de que estavam estudando sobre esses conceitos, o que pode ter auxiliado suas interpretações.

Não se esperava respostas mais elaboradas dos alunos da 1ª série, visto que não estudaram ou foram apresentadas ideias superficiais sobre esse assunto, o qual será tratado na 2ª série.

Quanto às ideias sobre interações intra e interpartículas, a explicação sobre o aumento do volume da água na mudança de estado físico, de líquida para sólida e a volatilidade maior do álcool em relação à da água, foi uma tarefa difícil aos alunos. Os alunos da 1ª série para explicarem esses fenômenos, respectivamente, (37,5% e 25% dos alunos) apresentaram explicações inadequadas com respostas desconexas empregando uma linguagem informal da química, na qual explicitaram concepções em nível macroscópico e alternativas, atribuindo o aumento do volume da água solidificada à formação de "gelo" e a expulsão de ar, conforme indicam os dados apresentados no Quadro 65 (APÊDICE C).

Algumas explicações dos alunos são destacadas: *"A água aumenta de volume porque vira gelo e o gelo é mais decomposto que a água, ou seja, maior"; "Quando a água fica sólida ela cria mais massa e aumenta. Por isso a garrafa estoura"; "O volume de água congelada é maior, pois o oxigênio que existe nela sai e expande o volume".*

Os alunos da 2ª série, (29,6%), apresentaram explicações em nível submicroscópico e alternativas, entre elas, houve predomínio de respostas que envolviam ideias sobre a expansão, congelamento, aumento e multiplicação das partículas, como apresentado nos dados do Quadro 65 (APÊDICE C). Também se destacam algumas das explicações dos alunos: *"Os elétrons param de se movimentar então o volume aumenta"; "A quantidade de água aumenta por causa da mudança de temperatura e quando congela as moléculas se juntam e diminuem, quando solidifica elas descongelam se separando."; "As moléculas se expandem e se afastam causando a dilatação e aumento do volume da água".*

Os alunos da 3ª série (25%) se referiram ao fenômeno com explicações centradas em fatores como, velocidade da mudança de estado físico, temperatura e pressão, conforme dados apresentados no Quadro 52 (APÊDICE C). Esse resultado não é de se estranhar, pois os alunos nesta fase do ensino estavam aprendendo sobre os conceitos de cinética química e tentaram, ainda que indevidamente, utilizar estes conceitos para justificar o fenômeno. Isto levou a pensar que, os alunos acionam os conceitos com mais frequência no momento que estes estão sendo ensinados. Desta forma, é oportuno pensar que, do ponto de vista da aprendizagem, os professores deveriam propor mais situações relacionadas aos conceitos que estejam desenvolvendo junto aos alunos, o que poderia gerar um ganho na estruturação dos conceitos e no seu campo de aplicação (LUFFIEGO, 2001). No geral, entre as turmas houve predomínio da visão em nível macroscópico do fenômeno relacionada à mudança de estado físico.

Quanto à volatilidade do álcool em relação à da água, como mostraram os dados (QUADRO 66, APÊDICE C), os alunos da 1ª série (43,7%) apresentaram explicações associadas a propriedades físicas, como: densidade, temperatura de ebulição, solubilidade: *"O álcool é mais volátil que a água e sua densidade é menor do que a da água."*; *"A solubilidade do álcool é menor, por isso o álcool evapora mais rápido"*.

Como mencionado anteriormente, esses alunos por estarem estudando sobre as mudanças de estado físico das substâncias e suas propriedades, podem ter utilizados essas ideias, presentes no momento, para explicarem o fenômeno.

Os alunos da 2ª série (44,4%) e os da 3ª série (34,4%) interpretaram o fenômeno com a utilização de explicações relacionadas à composição das substâncias, com presença de concepções alternativas: *"O álcool demora mais evaporar, pois ele apresenta mais componentes químicos"*; *"O álcool demorou mais para evaporar porque ele é composto de mais substâncias que a água"*.

Os dados apontaram que os alunos pouco se apropriaram dos conceitos de forças intra e intermoleculares na explicação das situações propostas neste estudo. Alunos de 2ª e 3ª séries, que já tinham passado pelo ensino destes conceitos, também não expressaram reconhecimento de tais ideias, o que levou a pensar na necessidade de se investir no ensino conceitos, tão importantes na

compreensão do comportamento e das propriedades das substâncias (ROMPAYON et al., 2011)

Para a melhor visualização do nível de adequação das explicações dos alunos na referida série, considerando as três dimensões, foram elaboradas as Figuras 21, 22 e 23 para a 1ª, 2ª e 3ª séries, respectivamente, a partir dos dados anteriores.

A seguir, serão apresentadas somente as figuras que ilustraram o nível de adequação das explicações em nível submicroscópico, foco deste estudo, em cada uma das dimensões de análise.

Figura 21 - Nível de adequação das explicações dos alunos de 1ª série nas três dimensões de análise: Explicações em nível submicroscópico.

Os alunos da 1ª série chegaram ao Ensino Médio com algumas noções sobre a Natureza da Matéria, pois a maioria (65,6%) apresentou explicações parcialmente adequadas. No entanto, estas concepções podem não estar claras aos alunos, uma vez que, não as utilizaram (59,4% dos alunos) de forma coerente para explicar o comportamento elétrico da matéria. Também, transitaram em explicar de forma adequada e parcialmente adequada, situações que envolveram a necessidade de conceitos sobre interações intra e inter partículas da matéria (46,9% dos alunos). Se considerou que este resultado não foi surpreendente, uma vez que estes alunos, ainda não haviam estudado sobre os conceitos submicroscópicos em um nível de maior aprofundamento.

Também, pode-se observar pela figura 21, que alguns alunos que iniciaram o Ensino Médio com noções sobre a estrutura da matéria, avançaram em explicações em nível submicroscópico de melhor grau de adequação nas dimensões 2 e 3.

Figura 22 - Nível de adequação dos alunos de 2ª série nas três dimensões de análise: Explicações em nível Submicroscópico.

Os alunos da 2ª série (66,7%) apresentaram explicações parcialmente adequadas sobre a Natureza da Matéria. No entanto, ao explicarem o comportamento elétrico da matéria, a maioria dos alunos (63%), manifestou explicações inadequadas. Resultado este, não muito diferente dos alunos da 1ª série, pois os mesmos estariam iniciando a 2ª série e a eles teria sido apresentado no ensino, apenas o modelo atômico de John Dalton. Portanto, nesta fase de aprendizagem, os conceitos sobre a estrutura da matéria, com aprofundamento sobre a natureza elétrica da mesma, ainda não tinham sido explorados. Quando, os alunos, são motivados a explicarem situações que envolviam ideias sobre interações intra e inter partículas, apresentaram explicações, na maioria (59,3% dos alunos) com inadequações, transitando entre concepções em nível macroscópico e submicroscópico.

Figura 23 - Nível de adequação dos alunos de 3ª série nas três dimensões de análise: Explicações em nível Submicroscópico.

Os alunos da 3ª série (71,9%) apresentam explicações parcialmente adequadas sobre a Natureza da Matéria. No entanto, ao explicarem o comportamento elétrico da matéria, a maioria (68,7%), manifestou explicações inadequadas. Resultado surpreendente, pois estes alunos já haviam passado pelo ensino de conceitos sobre a natureza elétrica e não souberam utilizá-los. Isto implica que estas concepções não se integraram em suas estruturas cognitivas de forma satisfatória. Nesta série, foi possível verificar pelos resultados, que ideias sobre interações intra e inter partículas, embora mais presentes, com 31,2% das explicações dos alunos, se apresentam parcialmente adequadas.

5.3 Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos

A partir dos níveis de adequação identificou-se a necessidade de aprofundar a análise das concepções dos alunos por isso elaborou-se níveis de compreensão descritos no item 4.3.2 da Metodologia da Pesquisa.

Dessa forma, as respostas dos alunos às questões do pré-teste, foram revisadas e reagrupadas levando-se em consideração tanto o nível de adequação quanto o nível de compreensão das mesmas.

As respostas dos alunos foram categorizadas nos níveis de compreensão e adequação, conforme os critérios descritos nos Quadros 33 a 35. Estes critérios foram elaborados com base nos critérios advindos dos níveis de adequação, apresentados nos Quadros 12, 13 e 14 do item 4.3.

Quadro 33 - Critérios para avaliar o nível de compreensão das explicações dos alunos - 1ª dimensão de análise).

1ª DIMENSÃO DE ANÁLISE: NATUREZA DA MATÉRIA		
Nível de Compreensão	Nível de Adequação	Descrição das explicações
Nível 4,0 Boa compreensão	Adequado 3,0	Presença de explicações em nível submicroscópico coerentes com os modelos científicos. Usa a linguagem científica de maneira adequada. Reconhece o átomo como um modelo para justificar a natureza da matéria. Escolhe ou desenha com coerência um modelo de átomo. Reconhece as partículas subatômicas. Apresenta coerência sobre a existência de vazio e movimento entre as partículas. Ausência de concepções alternativas.
Nível 3,0 Alguma compreensão	Parcialmente Adequado 2,0	Presença de explicações em nível submicroscópico ainda em construção. Usa a linguagem informal da química. Escolhe ou desenha um modelo de átomo, indicando partes e partículas com equívocos. Indica de forma correta a eletrosfera e ou o núcleo do átomo. Indica o núcleo corretamente mas o descreve com incoerências ou indica de forma incorreta, porém o descreve com coerência. Reconhece pelo menos uma das partículas subatômicas corretamente. Apresenta ideias em construção sobre a existência de vazio e movimento entre as partículas. Presença de concepções alternativas.
Nível 2,0 Vaga compreensão	Inadequado 1,0	Presença de explicações em nível submicroscópico alternativas. Escolhe ou desenha um modelo de átomo, mas não indicam suas partes e partículas e, se as indicam, o fazem com incoerências. Apresenta ideias sobre espaços vazios e movimento, mas os argumentos para justificá-las são incoerentes. Presença de concepções alternativas sobre as partículas subatômicas.
Nível 1,0 Insuficiente compreensão		Ausência de explicações de caráter submicroscópico ou respostas genéricas, ou frases do tipo: "não sei, não acredito". Ausência de um modelo representativo para o átomo. Ausência de ideias sobre a existência de espaços vazio e do movimento entre as partículas.

Quadro 34 - Critérios para avaliar o nível de compreensão das explicações dos alunos - 2ª dimensão de análise).

2ª DIMENSÃO DE ANÁLISE: NATUREZA ELÉTRICA DA MATÉRIA		
Nível de Compreensão	Nível de Adequação	Descrição das explicações
Nível 4,5 Boa compreensão	Adequado 3,0	Compreende o fenômeno em nível macroscópico. Elabora modelo explicativo coerente para justificar a perda de elétrons, a condutibilidade elétrica em solução e em metais.
Nível 4,0 Boa compreensão		Compreende o fenômeno em nível submicroscópico. Elabora modelo explicativo coerente para justificar a perda de elétrons, a condutibilidade elétrica em solução e em metais.
Nível 3,5 Alguma compreensão	Parcialmente Adequado 2,0	Compreende o fenômeno em nível macroscópico, mas apresenta erros conceituais e usa linguagem informal da química. Elabora modelo explicativo com erros conceituais para justificar a perda de elétrons, a condutibilidade elétrica em solução e em metais. Apresenta um modelo em construção.
Nível 3,0 Alguma compreensão		Compreende o fenômeno em nível submicroscópico, mas apresenta erros conceituais e usa linguagem informal da química. Elabora modelo explicativo com erros conceituais para justificar a perda de elétrons, a condutibilidade elétrica em solução e em metais. Apresenta um modelo em construção.
Nível 2,5 Vaga compreensão	Inadequado 1,0	Compreende o fenômeno em nível macroscópico, mas apresenta concepções alternativas. Elabora modelo explicativo, mas apresenta concepções alternativas.
Nível 2,0 Vaga compreensão		Explica os fenômenos em nível submicroscópico, mas apresenta concepções alternativas. Elabora modelo explicativo, mas apresenta concepções alternativas.
Nível 1,5 Insuficiente compreensão		Ausência de explicações em nível macroscópico.
Nível 1,0 Insuficiente compreensão		Ausência de explicações em nível submicroscópico.

Quadro 35 - Critérios para avaliar o nível de compreensão das explicações dos alunos - 3ª dimensão de análise).

3ª DIMENSÃO DE ANÁLISE: INTERAÇÕES INTRA E INTER PARTÍCULAS		
Nível de Compreensão	Nível de Adequação	Concepções Relacionadas à 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas
Nível 4,5 Boa compreensão	Adequado 3,0	Apresenta explicações em nível macroscópico coerentes com os modelos científicos para explicar fenômenos que envolvem transformação química e interações intra e intermoleculares.
Nível 4,0 Boa compreensão		Apresenta explicações em nível submicroscópico coerentes com os modelos científicos para explicar fenômenos que envolvem transformação química e interações intra e intermoleculares.
Nível 3,5 Alguma compreensão	Parcialmente Adequado 2,0	Apresenta explicações em nível macroscópico com erros conceituais mas com um modelo em construção para explicar fenômenos que envolvem transformação química e interações intra e intermoleculares.
Nível 3,0 Alguma compreensão		Apresenta explicações em nível submicroscópico com erros conceituais mas com um modelo em construção para explicar fenômenos que envolvem transformação química e interações intra e intermoleculares.
Nível 2,5 Vaga compreensão	Inadequado 1,0	Apresenta explicações em nível macroscópico com concepções alternativas para explicar fenômenos que envolvem transformação química e interações intra e intermoleculares.
Nível 2,0 Vaga compreensão		Apresenta explicações em nível submicroscópico com concepções alternativas para explicar fenômenos que envolvem transformação química e interações intra e intermoleculares.
Nível 1,5 Insuficiente compreensão		Apresenta explicações em nível macroscópico porém, não compreende os fenômenos envolvidos.
Nível 1,0 Insuficiente compreensão		Apresenta explicações em nível submicroscópico porém, não compreende os fenômenos envolvidos.

Considerando os critérios apresentados nos Quadros 33 a 35, as respostas dos alunos ao pré-teste foram reavaliadas e categorizadas nos níveis de compreensão, conforme descritos nesses quadros. Para facilitar a categorização das respostas dos alunos, nos Quadros 67 a 69 (Apêndice D), apresentam-se por série (1ª série - 32 alunos, 2ª série - 27 alunos e 3ª série - 32 alunos) o número de explicações dadas pelos alunos em cada nível de compreensão nas respectivas dimensões de análise.

A partir destes dados, foram elaboradas figuras 24 a 26, que apresentam respectivamente, o número de explicações dadas pelos alunos, para cada categoria das dimensões de análise, conforme o nível de compreensão.

Figura 24 - Níveis de compreensão dos alunos da 1ª série do Ensino Médio acerca de ideias sobre a Natureza da Matéria.

Figura 25 - Níveis de compreensão dos alunos da 2ª série do Ensino Médio acerca de ideias sobre a Natureza da Matéria.

Figura 26 - Níveis de compreensão dos alunos da 3ª série do Ensino Médio acerca de ideias sobre a Natureza da Matéria.

Os dados apontaram que os alunos de 1ª e 3ª série apresentaram insuficiente compreensão sobre a composição atômica da matéria, explicitando concepções do tipo: *"Eu acredito que a matéria é formada de átomos pois já estudei sobre isso"*, *"Não acredito pois é uma simples teoria"*. Chama a atenção que um número maior de alunos da 1ª série apresentou boa compreensão, expressando ideias do tipo: *"Quando você divide a matéria até não ser mais possível ela se transforma em um átomo"*.

Embora na 3ª série tenha ocorrido maior quantidade de alunos com insuficiente compreensão sobre a constituição atômica, foi nessa série que os alunos com boa compreensão apresentaram explicações mais elaboradas, por exemplo: *"Sim, acredito pois a matéria não pode ser definida e sim imaginada"*.

Muitas vezes, no ensino não são discutidas as ideias sobre a constituição da matéria. É importante que o modelo atômico seja visto não como uma simples descoberta, mas uma criação científica, que auxilia a prever o comportamento macroscópico da matéria, pois caso contrário, poderá o aluno ficar com a impressão que o modelo é uma cópia da realidade.

Na maioria das vezes, no ensino a matéria é definida com a típica frase, *"tudo que têm massa e ocupa lugar no espaço"*, não se discute o contexto

histórico da evolução dessa concepção. Talvez, essa falta de contextualização, tenha levado os alunos de 1ª a 3ª séries apresentarem modelos explicativos com respostas genéricas, ou explicações com base em "crenças", pois lhes faltavam conhecimentos para discussões mais elaboradas.

No geral, o nível de compreensão dos alunos ficou classificado em insuficiente compreensão. A ideia de a matéria ser formada por átomo é uma concepção estruturante no ensino de química e os professores precisam elaborar estratégias para que o aluno pense sobre este conceito.

A maioria dos alunos escolheu um modelo representativo para o átomo apresentando alguma compreensão. O modelo de Rutherford foi mais escolhido pelos alunos. Apesar de os alunos escolherem um modelo representativo para o átomo, eles não apresentaram conhecimentos a respeito da estrutura interna dos átomos. Segundo, De La Fuente, et al., (2003) a dimensão atômica não familiar à percepção dos alunos dificulta a compreensão. Não entendem o que não podem ver.

Além disso, do ponto de vista histórico, o avanço da ciência é apresentado aos alunos de forma descontextualizada, sem esclarecer o que ocorreu na época em que aconteciam as modificações nos modelos atômicos. A maior parte das estratégias de ensino são memorísticas, o que dificulta ao aluno entender e aplicar um modelo que o leve a explicar o comportamento e as propriedades da matéria, quanto mais perceber a evolução de um modelo para o outro. Esta pode ser uma das dificuldades dos alunos não avançarem na escolha de modelos mais elaborados como o de Bohr, pois não conseguem entender as necessidades e descobertas da época que levaram a elaboração deste modelo.

A identificação e definição do núcleo do átomo, pelos alunos, variou de insuficiente a alguma compreensão, considerando alunos de 1ª a 3ª séries. Os resultados apontam que os alunos apesar de reconhecerem o núcleo do átomo, o descrevem com relativa dificuldade.

Entre os alunos da 1ª série e 2ª séries, ocorrem explicações para definir o núcleo, do tipo: *"Um grupo de elétrons, prótons e nêutrons juntos"* e *"um grupo de elétrons e prótons se movendo ao redor de um centro de nêutrons."*

Os alunos da 3ª série escolheram a seguinte frase que para justificar sua compreensão a respeito do núcleo atômico: *"Um grupo de elétrons e prótons juntos"*. Apenas oito alunos do total (91) deste estudo optaram por uma

justificativa correta para definir o núcleo: *"Um grupo de prótons e nêutrons juntos"*.

A opção incorreta mais apontada pelos alunos para descrever o núcleo foi a frase: "o núcleo é formado por um grupo de elétrons, prótons e nêutrons juntos". Isto levou a considerar que os alunos não diferem entre as partículas subatômicas quando pensam no núcleo atômico.

No reconhecimento da eletrosfera notou-se avanço da 1ª a 3ª série, de insuficiente compreensão à alguma compreensão. Os alunos empregaram alguns termos como, corrente, anéis, elétrons para identificá-la. Parecem confundir os termos, elétron e eletrosfera ao se referirem a mesma. Entre os alunos da 1ª série poder-se-ia esperar tal resultado, porém entre os alunos da 3ª série esperaria uma resposta mais elaborada.

Sugere-se que no ensino de modelos, os professores valorizem a diferenciação entre as partículas e as interações eletrostáticas, pois os resultados deste estudo, apontaram a dificuldade pelos alunos na compreensão das partes e partículas do átomo. Isto pode ser um obstáculo para o entendimento da natureza elétrica da matéria, no que diz respeito, principalmente as forças eletrostáticas intra partículas do átomo e posteriormente o seu comprometimento para a compreensão de forças eletrostáticas inter partículas nos átomos (CARMONA, 2006).

Concepções sobre a existência de espaços vazios e sobre o movimento das partículas intra e inter partículas foram os conceitos que mais marcaram as dificuldades apresentadas pelos alunos. Em todas as séries os alunos apresentaram vaga compreensão sobre estes aspectos.

Os alunos não pensam no espaço vazio intra partículas. No entanto, para o espaço vazio interpartículas, comentaram que, no caso dos sólidos, *"não há espaços entre as partículas. Estas estão muito juntas umas às outras e não pode haver nada"*, e que entre as partículas de um gás consideram que exista ar. Nos estudos de Adadan (2012) também foi verificado que os alunos apresentaram dificuldades de progredir sobre a ideia de que entre as partículas de um líquido existe espaços vazios.

Quanto à ideia de movimento as respostas dos alunos também foram inconsistentes. Verificou-se que, foi mais fácil aos alunos elaborarem a ideia de movimento das partículas no estado gasoso do que no estado líquido ou sólido.

Para substâncias no estado sólido os argumentos apresentados pelos alunos foram de que as partículas estão sempre paradas e imóveis. Esta concepção foi mais acentuada entre os alunos da 1ª e 3ª séries.

Segundo Pozo (2009), o tipo de diferenciação que os alunos fazem sobre a ideia de movimento das partículas para os três estados físicos, pode estar ligada ao fato de que os alunos não conseguem diferenciar entre o movimento intrínseco das partículas que compõem o material do movimento aparente do material, ou seja, sua aparência perceptiva.

Na 2ª dimensão de análise, considerando a natureza elétrica da matéria, nas figuras 27 a 29, se apresentam o nível de compreensão dos alunos quando pensam na perda de elétrons pelos átomos e na condutibilidade elétrica, considerando uma solução aquosa de íons e metais.

Figura 27 - Nível de Compreensão das Explicações dos Alunos - 2ª. dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria - 1ª Série do Ensino Médio.

Figura 28 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 2ª dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria - 2ª Série do Ensino Médio.

Figura 29 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 2ª. dimensão de análise: Natureza Elétrica da Matéria - 3ª Série do Ensino Médio.

Os alunos da 1ª série não fizeram escolhas de situações adequadas relacionadas à perda de elétrons e não souberam explicar o fenômeno com coerência, apresentando insuficiente compreensão. Os alunos da 2ª série, tanto

nas escolhas das situações quanto na explicação do fenômeno, apresentaram vaga compreensão. Os alunos da 3ª série, apesar de fazerem escolhas corretas de situações que exemplificavam o fenômeno não souberam explicar corretamente. Entre os alunos da 1ª e 2ª séries não se esperava uma resposta adequada, pois no ensino não se havia discutido estes conceitos. No entanto, consideramos que os alunos da 3ª série poderiam elaborar explicações mais significativas e não avançaram demonstrando insuficiente compreensão do fenômeno.

Os alunos da 2ª série apesar de indicarem situações corretas, apresentaram explicações com concepções alternativas. A seguir se apresentam algumas de suas explicações: *"O portão de ferro maciço possui todos seus átomos, já quando corroído, a ferrugem estraga grande parte dele"*, *"O portão de ferro é um exemplo de elétron"*, *"O portão de ferro perde elétrons conforme fica mais velho"*.

Alguns alunos da 3ª série que apresentaram bom nível de compreensão manifestaram explicações ao nível atômico molecular com coerência, tais como: *"O atrito da caneta faz com que esta perca elétrons"*, *"pode perder elétrons devido a uma transformação química"*; *"O ferro perde elétrons"*; *"A natureza procura equilíbrio, quando atritados dois materiais, os elétrons da eletrosfera foram transferidos de um material para outro"*. Para esses alunos foi possível perceber certa evolução em suas explicações quando comparados com os alunos da 1ª e 2ª séries. No entanto, foi possível verificar que conceitos sobre a estrutura interna dos átomos, considerando as forças eletrostáticas, foram pouco empregados pelos alunos para justificarem a perda de elétrons por um átomo, o que pode ser justificado pelo fato de que o ensino pouco explorou estas ideias.

A verificação das concepções dos alunos sobre o fato de o átomo perder elétrons já foi estudada por outros autores (DE LA FUENTES et al., 2003; FRANÇA, 2009) e eles encontraram que os alunos pensam que o átomo, quando perde elétrons pode deixar de ser um átomo. Também, os alunos nesses estudos, consideram que isso seria possível de acontecer. Neste estudo longitudinal, as explicações apresentadas pelos alunos se centraram não no modelo de carga elétrica, capaz de explicar a eletrização da matéria, mas sim no sistema material. Por exemplo, no caso do portão de ferro corroído, os alunos atribuíram a formação da ferrugem ao portão e não ao processo de oxirredução.

Não se pode esperar que os alunos utilizem tais ideias, quando o ensino não lhes deu oportunidade para estabelecerem relações conceituais entre esses conceitos e as ideias advindas do ensino da estrutura do átomo, uma vez que, o modelo do átomo lhes foi apresentado de forma pronta e acabada e, ideias sobre forças eletrostáticas intra partículas não foram exploradas.

Segundo Benarroch (2001), a falta de esquemas específicos dependentes da experiência empírica dificultou que os esquemas operatórios fossem ativados pelos alunos e isso dificultou que houvesse um enriquecimento em suas estruturas cognitivas para elaborar explicações sobre a perda de elétrons pelo átomo.

Outros conceitos também foram explorados para verificar a visão dos alunos sobre alguns fenômenos como: o escurecimento de um objeto de prata; a condutibilidade elétrica em uma solução aquosa de cloreto de sódio e a condutibilidade elétrica em metais. Os alunos apresentaram dificuldades em usar conceitos sobre a natureza elétrica da matéria. Nas três séries houve predomínio de explicações em nível de vaga compreensão ao explicarem porque o objeto de prata escureceu. Entre os alunos da 1ª série, surgiram explicações do tipo: *“Os átomos foram envelhecendo e os átomos não foram substituídos”*; *“A correntinha foi desbotando, e com isso, levando seus átomos compostos embora”*, *“Os átomos diminuem conforme o tempo e deixa a correntinha escura”*, *“Os átomos perdem o brilho”*. Ideias animistas e substancialistas.

Os alunos da 2ª série apresentaram explicações do tipo: *“A correntinha está enferrujando, devido não ter cuidados”*, *“A correntinha com o tempo vai se desgastando”*, *“Com o tempo ela vai desgastando, porque entra em contato com água, suor etc.”*; *“A correntinha vai escurecendo por vários fatores”*, *“A correntinha perde brilho e enferruja”*.

Pelas explicações apresentadas, foi possível perceber como os aspectos perceptíveis tiveram influência nas explicações dos alunos de 2ª série.

Algumas explicações que surgiram entre os alunos da 3ª série são exemplificadas: *“A correntinha escureceu partir do acúmulo de impurezas no átomo”*, *“O átomo que faz a correntinha ficar escura com o bom tempo”*, *“Os átomos em contato com a pele ou simplesmente com o ar perdem vida, então a correntinha escurece”*, *“A correntinha escurece porque oxida, os átomos sofrem perda.”*, *“O material da prata perdeu elétrons”*. As explicações desses alunos

também revelaram a forte influência dos aspectos perceptíveis sobre as concepções dos alunos.

Quando da utilização dos conceitos sobre a formação de íons e a condutibilidade elétrica, os alunos foram instigados a refletir sobre a questão: Porque em uma solução aquosa de açúcar, a lâmpada não acende e, em um sistema contendo água e cloreto de sódio, a lâmpada acendeu?

Poucos alunos forneceram respostas mais elaboradas para a questão. Os alunos de 1ª série apresentaram insuficiente compreensão dos fenômenos e alguns não responderam a questão. Os que responderam, apresentaram as seguintes justificativas: *"Quando tem energia tem luz e quando não tem energia não tem luz"*, *"O sal não impede a corrente elétrica de passar o açúcar sim"*, *"A condução da lâmpada teve uma descarga elétrica e acendeu"*. Percebe-se que as explicações dos alunos foram genéricas, não demonstrando compreensão dos fenômenos.

Os alunos da 2ª série apresentaram vaga compreensão e entre suas explicações surgiram ideias do tipo: *"Acendeu a luz ligando o interruptor"*, *"Pois no sistema utilizou água sal e gerador"*; *"Pois o sal sendo fonte natural carrega energia"*. E os alunos da 3ª série apresentaram explicações também com vaga compreensão, do tipo: *"O sal que dissolve mais rápido faz com que se passe corrente elétrica"*, *"O sal é condutor de eletricidade, por isso o circuito é fechado por isso a lâmpada acendeu"*.

Como foi possível perceber na maioria das explicações, os alunos se basearam nos aspectos perceptíveis do sistema ou das substâncias envolvidas. Houve dificuldades de os alunos avançarem em um modelo explicativo que os fizessem relacionar a ideia da natureza elétrica da matéria com a ideia da formação de íons e da condutibilidade elétrica.

No ensino, poucas relações são estabelecidas entre o modelo atômico e a formação de íons (FRANÇA, 2009). É necessário que o ensino sobre a estrutura atômica relacione ideias sobre a existência de forças eletrostáticas entre os prótons e elétrons, responsáveis pela maior ou menor estabilidade entre as partículas. Essa ideia pode desencadear a compreensão por parte dos alunos de que as partículas podem estar "mais ou menos atraídas entre si", podendo ocorrer saída ou entrada de partículas (elétrons) na eletrosfera, gerando íons (CARMONA, 2006). Os professores normalmente instruem sobre a formação de

íons com base na regra do octeto, em detrimento de conceitos que envolvem ideias sobre energia de ionização e eletronegatividade.

Como aponta Caamaño (2004) em geral, no ensino, o íon é definido como o átomo que ganhou ou perdeu elétrons em sua camada de valência. Essa maneira simplificada de tratar esse conceito pode, como verificado nesta pesquisa, dificultar o estabelecimento de relações por parte do aluno entre estrutura atômica, formação de íons e a compreensão de vários fenômenos presentes em seu cotidiano, associados à ideia de íon. Dessa forma, o ensino parece não contribuir para que os alunos reorganizem suas representações do mundo físico a partir de conhecimentos da Ciência (França, et al., 2009).

Segundo Benarroch (2000), a evolução cognitiva implica um avanço gradual e fértil dos esquemas cognitivos devido a novas incorporações conceituais, de forma que ocorra um progresso dos esquemas específicos em nível macroscópico que evoluem lentamente a novos esquemas. Os alunos manifestam explicações que passam de um nível de simples descrições para um nível explicativo mais enriquecido, sem que as concepções se desliguem das suas percepções. Nesse sentido, levou-se em consideração, que um período mais extenso no ensino sobre os modelos submicroscópicos poderia resultar em uma evolução dos modelos explicativos dos alunos, quando da utilização dos conceitos sobre a perda de elétrons, formação de íons e condutibilidade elétrica.

Na 3ª dimensão de análise, considerando as forças intra e inter partículas, as Figuras 30 a 32 apresentam os níveis de compreensão dos alunos na explicação dos fenômenos: rearranjo dos átomos em uma transformação química, interações intermoleculares para explicações dos fenômenos, aumento do volume da água na mudança de estado para o sólido e a maior volatilidade do álcool em relação à da água.

Figura 30 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas - 1ª Série do Ensino Médio.

Figura 31 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas - 2ª Série do Ensino Médio.

Figura 32 - Níveis de Compreensão das Explicações dos Alunos - 3ª dimensão de análise: Interações Intra e Inter Partículas - 3ª Série do Ensino Médio.

Para explicar o rearranjo dos átomos em uma transformação química, a maioria dos alunos de 1ª e 3ª séries apresentaram insuficiente compreensão. No entanto, os alunos da segunda série apresentaram boa compreensão, sobre o que ocorre com os átomos em uma transformação química.

Os dados apontam que não é tarefa fácil para os alunos compreenderem a matéria como um complexo sistema de partículas em interação. Nem tão pouco, reconhecer, por exemplo, que em dada transformação química ocorreram quebras de ligações entre os átomos dos reagentes com a formação de novas ligações. A maioria dos alunos não apresentou um nível satisfatório de compreensão sobre a transformação química, com exceção dos alunos da 2ª série.

Entre os alunos de todas as séries, houve explicações que valorizaram a modificação na aparência da substância, seu desaparecimento e até mudanças de estado físico. Tais explicações vão ao encontro de algumas categorias encontradas no estudo de Anderson (1990), segundo as quais, se caracterizam pelo fato de que as partículas experimentam as mesmas mudanças que a matéria observável.

Para Pozo (2009), além da interpretação das mudanças baseadas nos aspectos perceptíveis dos estados inicial e final, é necessário compreender a

conservação de propriedades não observáveis da matéria e concebê-la como um complexo sistema em equilíbrio. Sob este ponto de vista, se notou que a utilização pelos alunos de conceitos atômicos e moleculares para justificarem a transformação química foi pouco reconhecida.

Os alunos não podem ver os átomos e suas interações e isto contribui para a dificuldade da compreensão do conceito e, como consequência, as concepções alternativas são fáceis de serem desenvolvidas (ROMPAYOM et al., 2011). Nesse sentido, considerou-se que no ensino sobre a natureza da matéria seria importante mediar para que o aluno conseguisse transpor a visão da continuidade da matéria para sua natureza descontínua, em que os átomos, (pequenas partículas) se encontram em contínuo movimento e interação.

Pôde-se conjecturar que, apesar de os alunos da 2ª série terem escolhido a explicação correta sobre o rearranjo entre os átomos em uma transformação química, eles não compreendam o fenômeno ao nível de interações eletrostáticas. Isto se deve em virtude do número de alunos da 3ª série que, mesmo após terem passado pelo ensino desses conceitos, foram os que mais apresentaram insuficiente compreensão.

Outro aspecto importante avaliado foi em relação as concepções dos alunos sobre interações inter partículas, considerando os dois sistemas: mudança de estado físico da água líquida para a água sólida e a maior volatilidade do álcool em relação à da água. Estas substâncias foram escolhidas, por serem mais familiares aos alunos.

Os dados apontaram que os alunos, na sua maioria, apresentaram uma vaga compreensão dos fenômenos. A maioria das explicações dos alunos se apresentaram em nível macroscópico e inconsistentes e não deram conta de justificar o fenômeno. Nas explicações dos alunos ocorreram ideias sobre: propriedades do material, solubilidade, densidade, aspectos sobre sua composição, influência de fatores externos (clima, tempo, temperatura).

Entre os alunos da 1ª série surgiram explicações do tipo: "*Quando a água passa de líquido para sólido o tamanho aumenta porque vira uma pedra dentro da garrafa*", "*O álcool evapora mais rápido por causa das misturas que são feitas e porque o álcool é menos denso que a água*". Entre os alunos da 2ª série surgiram explicações como: "*Aumentou, pois o oxigênio ficou dentro da água congelada e formou pressão dentro da garrafa*", "*O álcool evapora mais rápido*

por causa das misturas que são feitas e porque o álcool é menos denso que a água". E os da 3ª série comentaram: "As moléculas se expandem e se afastam causando a dilatação e aumento do volume da água", "O álcool tem uma menor presença de oxigênio, facilitando essa evaporação."

Para explicar a maior volatilidade do álcool em relação a da água os alunos da 3ª série, na maioria apresentaram explicações com Vaga compreensão. Isto implicou que eles não se utilizam de conceitos sobre forças intermoleculares para justificar o fenômeno. Algumas de suas explicações são exemplificadas: *"A água é uma substância pura por isso, com nossa temperatura do corpo, evapora mais rápido que o álcool que é uma substância composta", "Pois o álcool quando jogamos em nossas mãos ele esquenta um pouco e evapora mais rápido do que a água e, ela tem menor velocidade".*

Esperava-se que os estudantes explicassem os fenômenos, com base em conceitos sobre interações intermoleculares, considerando que, embora de forma defasada os alunos estudaram sobre o assunto, no entanto isso não ocorreu. Este poderia ser o sinal de que, mesmo terminado o processo de instrução, a maioria dos alunos não conseguiram distinguir a diferença entre forças intra e inter partículas e a relação destas, na explicação de fenômenos como o processo de mudança de estado de substâncias e volatilidade das substâncias (ROMPAYOM et al., 2011).

Como sugestão, os professores poderiam, durante o ensino, retomarem exemplos sobre estes fenômenos (mudanças de estado físico, volatilidade, estados físicos da matéria, solubilidade etc.), os quais foram aprendidos com base nos fenômenos observáveis e auxiliarem os alunos refletir sobre os mesmos pensando nos fenômenos sob a ótica da estrutura da matéria. Isto ajudaria os alunos a construir explicações mais elaboradas, possibilitando-lhes o estabelecimento de um vínculo entre as ideias em nível macroscópico com as propriedades submicroscópicas. Dessa forma poderiam compreender melhor os fenômenos vencendo a barreira da superficialidade.

Portanto, se os alunos não conheceram os aspectos fundamentais sobre as interações eletrostáticas na constituição e na estrutura da matéria como poderiam estabelecer a ligação dessas ideias para explicar fenômenos que envolvem conceitos sobre forças intermoleculares?

A ausência desse conhecimento sobre a natureza elétrica da matéria pode ser uma barreira para o desenvolvimento de conceitos sobre forças inter partículas. Dessa forma, concorda-se com Benarroch (2000, 2001), que afirma: se os estudantes apresentarem um nível de abstração mais elevado, em função de seus esquemas operatórios, poderão fazer inter-relações conceituais, e a cada enriquecimento desse nível de conhecimento haverá um ganho nos esquemas específicos, resultando em respostas mais elaboradas.

Sabemos, no entanto, que isto é um processo gradual, durante o qual as estruturas iniciais são continuamente enriquecidas e reestruturadas.

A seguir considerando o nível de compreensão nas três dimensões de análise a Figura 33 apresenta o nível de compreensão de cada uma das turmas comparativamente.

Figura 33 - Níveis de Compreensão das Explicações dos alunos nas Três Dimensões de Análise.

Os dados apontaram que na 1ª dimensão de análise em todas as turmas ocorreu predomínio de vaga compreensão dos conceitos submicroscópicos sobre a natureza e estrutura da matéria. Na 2ª dimensão de análise, os alunos da 1ª série apresentaram insuficiente compreensão sobre a natureza elétrica da

matéria, os de 2ª e 3ª séries vaga compreensão. Na 3ª dimensão de análise, a 1ª e 3ª série apresentaram insuficiente compreensão sobre as interações intra e interpartículas e a 2ª série vaga compreensão em nível macroscópico.

Isto significa que entre todas as turmas, os alunos apresentaram dificuldades na compreensão de a matéria ser constituída por átomos e diferenciar as partes e partículas que o constituem. Não elaboraram os conceitos sobre espaços vazios e movimento entre partículas.

Entre os alunos da 1ª e 2ª séries, como foi um pré teste, estas ideias ainda serão discutidas e eles podem ainda construir estas concepções. No entanto, os alunos da 3ª série, já haviam passado pelo ensino desses conceitos e não conseguiram utilizar os conceitos na explicação dos fenômenos. Desta forma, é necessário que o ensino retome constantemente os conceitos ao longo do Ensino Médio, para que as dificuldades dos alunos sejam sanadas e que eles possam ter a oportunidade de reestruturarem suas concepções.

De acordo com Benarroch e Marín (1998) existe uma hipótese de que, diante da realidade o sujeito, graças as suas abstrações empíricas, fase “intrafactual”, adquire os primeiros esquemas específicos, e a partir de abstrações reflexivas, provoca uma ligação “interfactual” destes esquemas específicos entre si e também com outros esquemas. Deste modo, se amplia a extensão do domínio do conhecimento que, após uma ou várias fases interfactuais, resulta em uma fase “transfactual”, na qual a abstração de forma refletida origina uma explicação causal necessária, com respostas elaboradas. Por estes pressupostos teóricos, os autores concluem que em um determinado nível de esquemas operatórios, os esquemas específicos experimentam enriquecimentos progressivos. Desta forma, ao passar de um nível explicativo a outro, supõe-se um incremento de complexidade ao nível anterior, dado que a informação, além de aumentar, se reorganiza de maneira distinta.

Concorda-se com este modelo de aprendizagem e acredita-se que, se o ensino sobre a estrutura atômica da matéria for planejado e estratégias didáticas forem elaboradas levando em conta estes pressupostos, a aprendizagem de conceitos submicroscópicos sobre a estrutura da matéria poderia ter avanços significativos.

5.4 Modelos Explicativos Apresentando as Explicações mais Recorrentes dos Alunos

Para verificar o modelo explicativo mais recorrente dos alunos em cada uma das séries (1ª, 2ª e 3ª), considerando os conceitos que foram explorados em cada uma das dimensões de análise, as explicações dos alunos foram agrupadas por nível de compreensão conforme as características que apresentavam e foram classificadas em (A1, A2, B, C e D) como mostra o Quadro 70 (APÊNDICE E).

Em seguida verificou-se qual explicação era a mais recorrente em cada uma destas características (A1, A2, B, C e D), considerando o número maior de explicações que surgissem. Assim, no Quadro 70, indica-se em vermelho, o número de explicações que aparecem em maior quantidade, seguidos das cores, azul, verde e por fim amarelo (menor número de alunos).

Dessa forma, se agrupou para cada conceito, as explicações que mais recorreram. Elaborou-se, para cada uma das séries, um quadro com as explicações mais recorrentes dos alunos considerando os conceitos das três dimensões de análise.

No Quadro 36 se apresenta as concepções mais recorrentes dos alunos por série e a análise dos resultados.

Quadro 36 - Características das explicações mais recorrentes dos alunos da 1ª série nas Dimensões de Análise.

1ª Série - 32 Alunos	Alunos do total de 32
- Concebe a ideia de a matéria ser formada por átomos reconhecendo o átomo como um modelo para justificar a Natureza da Matéria.	13
- Apresenta um modelo representativo para o átomo, com predomínio na escolha do modelo de Rutherford.	24
- Não reconhece o núcleo, e não distinguem entre as partículas que constituem o átomo, mesmo que lhes sejam apresentados um modelo representativo do átomo.	13
- Se refere à eletrosfera indicando-a de forma incorreta. Entre os termos que utilizam nas indicações, a eletrosfera é denominada de: camada, corrente, conjunto, plasma, elétron, membrana, etc., e o elétron de: próton, nêutron, célula, átomo etc.	19
- Se refere ao elétron indicando-o de forma incorreta. Entre os termos que utilizam nas indicações dos elétrons: próton, nêutron, célula, átomo, etc.	14
- Não reconhece a ideia da existência de espaços vazios entre as partículas.	26
- Não reconhece que as partículas estão em constante movimento.	24
- Reconhece algumas situações corretas relacionadas ao fenômeno sobre a perda de elétrons, e explicam com base nos aspectos observáveis, mas não demonstra entendimento do fenômeno.	13
- Não reconhece a formação de íons e não aplica para explicar condutibilidade elétrica em uma solução aquosa, não fornecem nenhuma explicação.	11
- Não reconhece a transformação química como rearranjo de partículas na formação de novas substâncias	16
- Explica a mudança de estado físico com explicações em nível macroscópico com presença de concepções alternativas, vagas e inconsistentes, que envolvem ideias sobre propriedades do material.	15
- Explica a volatilidade do álcool em relação a da água com explicações em nível macroscópico, com presença de concepções alternativas, vagas e inconsistentes, que envolvem ideias sobre propriedades do material.	11
2ª Série - 27 Alunos	Alunos do total de 27
Não cita a palavra átomo, mas concebe a ideia de a matéria ser formada por estes, devido o estudo de cientistas ou pela sua experiência na aprendizagem escolar.	9
Apresenta um modelo representativo para o átomo. Ocorreu um predomínio na escolha do modelo de Rutherford.	21
Identifica o núcleo do átomo de forma incorreta, mas o descreve com coerência:	15
identifica a eletrosfera incorretamente. Entre os termos que utilizam nas indicações, a eletrosfera é denominada de: camada, corrente, conjunto, plasma, elétron, membrana, etc., e o elétron de: próton, nêutron, célula, átomo etc.	22
Indica o elétron de forma incorreta. Entre os termos que utilizam nas indicações, o elétron é indicado de: próton, nêutron, célula, átomo etc.	21
Não reconhece a existência de espaços vazios entre as partículas.	25
Não reconhece que as partículas estão em constante movimento.	21
Reconhece situações corretas, relacionadas ao fenômeno: "perda de elétrons por um átomo" fornecem explicações em nível submicroscópico com presença de concepções alternativas, não denotando a elaboração de um modelo em construção;	
Explica a condutibilidade elétrica em nível macroscópico	7
Reconhece a transformação química como rearranjo entre as partículas com formação de novas substâncias.	17
Explica a mudança de estado físico com concepções ao nível atômico molecular com presença de ideias animistas e substancialistas.	9
Explica a volatilidade com concepções em nível macroscópico com presença de concepções alternativas, vagas e inconsistentes, que envolvem ideias sobre propriedades do material.	17

(Continua)

(Continuação)

3ª Série - 27 Alunos	Alunos do total de 27
- Não cita a palavra átomo mas concebem a ideia de a matéria ser formada por estes, e justificam suas crenças devido ao estudo de cientistas ou pela sua experiência na aprendizagem escolar.	11
- Apresenta um modelo representativo para o átomo. Ocorreu um predomínio na escolha do modelo de Rutherford.	26
- Identifica o núcleo do átomo de forma incorreta, mas descrito com coerência.	16
- Indica a eletrosfera de forma incorreta: camada, corrente, conjunto, plasma, elétron, membrana, etc., e o elétron de: próton, nêutron, célula, átomo etc.	24
- Indica o elétron forma incorreta. Entre os termos que utilizam nas indicações, o elétron é indicado de: próton, nêutron, célula, átomo etc.	14
- Não apresenta ideias sobre a existência de espaços vazios entre as partículas.	31
- Não reconhece que as partículas estão em constante movimento.	27
- Reconhece situações sobre a "perda de elétrons por um átomo" e fornecem explicações em nível submicroscópico coerentes	11
- Fornece uma explicação em nível macroscópico para formação de íons com presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção:	13
- Não reconhece a transformação química como rearranjo de partículas e formação de novas substâncias.	19
- Explica a mudança d estado físico com explicações em nível macroscópico com presença de ideias vagas e inconsistentes.	8
- Explica a volatilidade do álcool em relação a da água com presença de concepções alternativas, vagas e inconsistentes.	10

Os alunos na maioria apresentaram ideias recorrentes com as mesmas características da 1ª a 3ª série. Considerando que a professora foi a mesma durante todo o ensino, isto implica que, parece que o ensino não foi efetivo para os alunos. Concepções com características semelhantes se mostraram recorrentes entre os alunos ao longo do Ensino Médio, tais como: a ideia de a matéria ser formada por átomos devido aos estudos de cientistas e escolares, o modelo de Rutherford como representativo do átomo com dificuldade de reconhecimento de suas partes e partículas, dificuldade na construção dos conceitos sobre a existência de espaços vazios e movimento entre as partículas. Falta de compreensão sobre a perda de elétrons pelo átomo e da formação de íon. Dificuldade no emprego de conceitos sobre forças eletrostáticas na explicação de fenômenos que envolvem ideias sobre forças intermoleculares.

Desta forma, fica a sugestão que o ensino destes conceitos seja repensado, revisto e que novas estratégias sejam elaboradas. Além disso, ensino deve considerar as concepções que os alunos trazem inicialmente para as salas de aulas de química, que acompanhem o desenvolvimento conceitual dos alunos, retomando constantemente os conceitos, de modo que, o aluno

possa reestruturar suas concepções, fazer relações entre elas aprender de forma significativa.

5.5 Estudo Longitudinal de Quatro Alunos

Quatro estudantes (A, B, C e D), de uma amostra de dez alunos acompanhados por entrevistas durante o estudo longitudinal, foram selecionados para uma análise individual do desenvolvimento conceitual.

Os alunos escolhidos representaram quatro perfis diferentes. Dois alunos (B e C), participaram ativamente em sala de aula, sempre questionando e interagindo com a professora e os colegas. No trabalho em laboratório, se mostraram curiosos e interessados. O aluno “C”, no entanto, era no geral de menor desempenho do que o B. A aluna (A) teve participação pouco ativa das discussões, mas se mostrou interessada nas aulas teóricas e práticas. Seu desempenho era menor do que o dos alunos B e C. O aluno (D) muito argumentador e manifestou, nas aulas, muitas concepções alternativas, no entanto, sempre interessado e participativo.

Adotando como critérios a efetiva participação dos alunos em sala de aula e no laboratório, bem como o desempenho apresentado nas provas realizadas pela professora de química, esses alunos foram classificados em: aluna “A” - nível baixo; aluno “D” - nível médio; alunos “B” e “C” - nível elevado.

Durante as entrevistas foram empregadas como estratégias, experimentos demonstrativos para auxiliar a reflexão dos alunos acerca dos conceitos e de sua utilização na explicação de fenômenos. Também foi solicitado aos alunos que elaborassem desenhos, representassem equações de reações, interpretassem fórmulas, estabelecessem relação entre termos da química, para que pudessem expressar, da melhor forma possível, suas concepções por meio de modelos explicativos (verbais, pictóricos e escritos). Em cada uma das entrevistas se buscou contemplar cada um dos conceitos explorados nas três dimensões de análise.

Assim, as entrevistas foram áudio gravadas e também transcritas. Os materiais produzidos pelos alunos durante as entrevistas, também auxiliaram

nas análises. No quinto período, cerca de quatro meses após a última entrevista, esses alunos, responderam novamente ao questionário inicial, em conformidade com o Instrumento 1 (pré - teste), (APÊNDICE B), agora denominado de pós - teste.

Após sucessivas leituras das concepções manifestadas pelos alunos nos instrumentos a que foram submetidos (pré - teste, entrevistas, pós - teste), os modelos explicativos por eles explicitados foram cuidadosamente analisados e suas ideias foram agrupadas por conceitos e dimensões de análise em cada período da coleta de dados. Isto orientou a elaboração de quatro mapas cognitivos para cada aluno, conforme descrito na metodologia, envolvendo as três dimensões de análise em diferentes momentos do estudo longitudinal. No primeiro mapa cognitivo são apresentadas as ideias do aluno sobre modelo atômico e descontinuidade da matéria, no segundo mapa cognitivo, as ideias relativas ao movimento e espaços vazios intra e interpartículas, no terceiro mapa cognitivo, as ideias sobre a natureza elétrica da matéria e no quarto mapa cognitivo, as interações intra e interpartículas.

As concepções dos alunos, por conceito e dimensão, depreendidas nos mapas cognitivos, foram classificadas em níveis de compreensão conforme apresentados no item 4.3.2 descritos na metodologia. E no Quadro 15, neste mesmo item, foram apresentados os valores numéricos para caracterizá-los.

Dessa forma, as tabelas (níveis de compreensão das explicações dos alunos) foram elaboradas, considerando cada dimensão de análise e nelas constam os valores atribuídos para cada conceito explorado na entrevista, conforme o nível de compreensão que o aluno apresentou ao explicitar seu modelo explicativo. Essas tabelas são apresentadas posteriormente.

As tabelas orientaram a classificação dos níveis de compreensão alcançados pelo aluno para cada conceito, ao longo do estudo longitudinal. Assim, estabeleceu-se um valor final, de acordo com seguintes critérios: o valor final foi atribuído considerando o valor do nível de compreensão que apareceu com mais frequência no período; no caso de frequências iguais para valores diferentes, foi considerado o valor mais alto e quando aconteciam frequências iguais entre níveis de compreensão envolvendo explicações em termos macroscópicos e submicroscópicos, por exemplo, 2,0 e 2,5, foi considerado o nível de compreensão da concepção que mais apareceu no conjunto do período.

Dessa forma, são apresentados, para cada aluno (A, B, C e D) os mapas cognitivos, as análises e discussões. Trechos das explicações dos alunos extraídos das entrevistas foram incluídos para clarear o entendimento do raciocínio dos alunos. Finalmente, são apresentadas as tabelas com a indicação do nível de compreensão para cada conceito, ao longo dos períodos e no conjunto da dimensão de análise e por fim, figuras ilustrativas do desenvolvimento conceitual individual do aluno por dimensão e no conjunto das três dimensões.

Para auxiliar na compreensão da análise do desenvolvimento conceitual do aluno, no Quadro 37 foi estabelecida uma relação entre a época em que o ensino abordou os conceitos de interesse dessa pesquisa e o momento em que as entrevistas foram realizadas.

Quadro 37 - Relação entre os momentos em que os conceitos foram abordados no ensino com a época da realização das entrevistas.

SÉRIE	BIMESTRE	CONCEITOS DESENVOLVIDOS NO ENSINO	PERÍODOS DO ESTUDO LONGITUDINAL E ENTREVISTAS
1ª série	1º	Interações e transformações química, mudanças de estado físico da matéria, densidade e solubilidade	2º período - 1ª entrevista
	2º	Combustíveis e combustão. Poder calorífico. Relação de massa e quantidade de matéria nas transformações química. Modelo atômico de Dalton.	
	3º	Linguagem e simbologia da química. Tabela periódica. Partículas subatômicas nas transformações química. Quantidade de energia envolvida na transformação química. Metais e sistema produtivo.	2º período - 2ª entrevista
	4º	Previsão das quantidades de reagentes e produtos nas transformações químicas. Energia liberada e absorvida nas reações químicas.	
2ª série	1º	Propriedades da água. Dissolução de materiais na água e mudanças de suas propriedades. Calor específico, condutibilidade elétrica. Soluções.	3º período - 3ª entrevista
	2º	Comportamento dos materiais, condutibilidade elétrica. Modelos atômicos (Rutherford e Bohr). Tabela Periódica (revisitação). Estrutura da matéria, ligações químicas Inter atômicas, energia de ligação	
	3º	Forças de interações entre partículas. Propriedades dos sólidos iônicos. Forças de interações e as substâncias moleculares. Ligações de Hidrogênio. Forças de interações e a solubilidade e mudanças de estado físico.	3º período - 4ª entrevista
	4º	Transformações químicas e eletricidade	4º período - 5ª entrevista
3ª série	1º	Fatores que influenciam na rapidez das transformações químicas.	4º período - 5ª entrevista

✓ **Análise do desenvolvimento conceitual da aluna A**

A aluna A, inicialmente concorda que a matéria é constituída por átomos, justificando que já havia estudado este fato. No entanto, no decorrer dos períodos seguiu explicando a constituição da matéria com uma visão contínua, pois, comentou em vários momentos que a matéria era formada de "pedacinhos de alguma coisa" ou "células", como mostra a figura 35. Usou de frases do tipo: *"Pra mim o átomo é uma coisa bem pequenininha que todas essas coisas bem pequenininhas juntas formam uma coisa grande ou não tão grande, mas que formam alguma coisa", "bolinhas pequenas, bem pequenininhas que não dão para enxergar a olho nu, todas juntinhas"*.

A representação pela aluna de um sistema contendo água e sal, como mostrado na Figura 34, corrobora com a ideia de sua visão contínua da matéria, na qual, não se percebe a presença de elementos (bolinhas, pontinhos etc.) indicadores de ideias de descontinuidade.

Figura 34 - Sistema contendo água e sal

Em alguns períodos (3º período) a aluna, citou a palavra átomo e substância para explicar a composição da matéria, mas não soube definir o que era uma substância química e tão pouco associar que são os átomos as unidades fundamentais das substâncias. Para a aluna, a substância era formada de oxigênio. *"Ah! Eu acho que normalmente tem o oxigênio"*.

Figura 35 – Primeiro Mapa Cognitivo da Aluna "A" - Natureza da Matéria: Ideias sobre a constituição da matéria e estrutura do átomo.

A diferenciação entre materiais naturais e artificiais, bem como, a representação e interpretação das fórmulas de substâncias químicas, estavam em discussão no ensino, o que pode ter interferido nas interpretações da aluna, a motivando utilizar a ideia de substância.

Apesar de o ensino ter desenvolvido ideias sobre os modelos atômicos para justificar a constituição da matéria, foi enfatizada a ideia do modelo de Dalton, por exemplo, como "bolinhas". A professora chegou a até comentar: *"Na primeira série pelo menos, eu penso assim, mesmo que ele pense que a matéria é formada de um monte de bolinhas e essas bolinhas são átomos, eu acho que já estamos na metade do caminho. Pelo menos já está sabendo que a matéria é formada por átomos."*

No entanto, no modelo explicativo elaborado pela aluna, parece que ela não vinculou a ideia do "modelo de bolinhas" do átomo de Dalton à estrutura submicroscópica da matéria. Talvez a ênfase dada a este modelo no ensino, com uso da analogia de uma "bolinha" constituiu-se uma barreira para que a aluna não superasse a visão aparente da matéria, pois o modelo traz em si uma forma fácil de imaginar algo próximo do seu cotidiano, ou seja, "bolinhas". O modelo que a aluna apresentou durante todo os períodos, sempre esteve relacionado ao modelo de "bolinhas".

A ideia de a matéria ser constituída por células, apresentada inicialmente pela aluna, foi ampliada. A frase a seguir justifica essa análise: *"imagino a célula como se fosse meio parecida com o átomo, eles até se parecem, mas átomo é uma coisa, célula é outra"*. No entanto, o ensino precisa considerar este tipo de concepção, pois para alguns alunos esta analogia pode se constituir uma barreira para a elaboração da ideia do átomo. No caso, da aluna A, este tipo de concepção prévia por ela apresentada, não foi explorada pela professora, apesar de que a aluna por si, tenha diferenciado entre átomo e célula. No entanto, outros alunos talvez não consigam diferenciar.

Assim, se concluiu que, apesar de a aluna se apoiar na ideia de a matéria ser formada de átomos, seguiu com uma visão contínua da matéria.

A construção de um modelo atômico também não foi uma tarefa fácil à aluna "A". Escolheu inicialmente o modelo do Rutherford como representativo de sua ideia de átomo e optou pelo modelo de Bohr no final dos períodos, o reconhecimento das partes e partículas do átomo não foram diferenciadas de

forma coerente pela aluna e ela não conseguiu apresentar um modelo coerente de átomo. Inicialmente, a aluna "A" percebia o núcleo do átomo como sendo o próprio átomo e, a eletrosfera como um conjunto, chegando a denominá-la de elétron. A aluna, parece usar alguns termos da química, sem que os compreenda.

A partir do ensino de modelos atômicos (3º período) a aluna, passou a considerar a existência das partículas (prótons, nêutrons e elétrons) ainda que de forma incoerente. O núcleo passou a ser considerado o centro do átomo e, a eletrosfera envolvendo o átomo com as partículas, prótons, nêutrons e elétrons.

Foi possível notar a influência do ensino na elaboração do modelo de átomo pela aluna, mesmo que seu modelo não tenha se apresentado estruturado, como visto na Figura 35 (4ª e 5ª entrevistas). Para explicar o modelo que ela elaborou (Figura 36), a aluna apresentou o seguinte argumento: *"Ah! Acho que no meio do átomo, lá tem o núcleo e eu acho que em volta do átomo tem os prótons e os elétrons". "Os elétrons e os prótons ficam em movimento em volta dos átomos. Fazem com que, ele se movimente. Aí tem as cargas negativas que eu acho que praticamente é a mesma coisa que os elétrons. Eu acredito. E os nêutrons que são parecidos com os prótons e são mais leves. Não sei. E os espaços vazios eu acho que não tem espaço vazio. Eu acho que não tem espaço vazio entre eles. Eu acho que eles ficam muito juntinhos e não tem espaço".*

Figura 36 - Modelo atômico apresentado pela aluna "A" no 4º período

A dificuldade da aluna na elaboração de um modelo atômico pode estar associada à sua visão da matéria, pois na Figura 36, foi possível perceber que ela situa as partículas do átomo, externas a ele, ou seja, em volta de suas "bolinhas". Essas partículas parecem não fazer parte do átomo. Segundo Benarroch (2001) a aluna por meio do ensino está elaborando ideias em sua mente, mas não consegue organizá-las.

De acordo com a professora de química da aluna, a abstração de um modelo considerando as partes e partículas, não foi fácil aos alunos. *“Eles conseguem entender que tem a ver com a carga elétrica. O que eu acho que é difícil para eles é entender o modelo, como um conjunto de informações, ou seja, que tem as cargas positivas e negativas. Até pra gente é difícil, não é? [...] Eu acho que se o aluno sair sabendo que existem modelos diferentes, que houve uma evolução nos modelos e saber que muitas das propriedades da matéria estão relacionadas com o modelo atômico, mesmo que ele não consiga identificar a parte positiva da parte negativa, mas que ele saiba que tem alguma coisa a ver com o modelo atômico e que isso vai ligar com ligações químicas já é um ganho”*. Diante dessa fala da professora surge um questionamento. Como o aluno, pode interpretar o comportamento elétrico da matéria explicando algumas de suas propriedades, se não reconhece a natureza elétrica das partículas do átomo?

É preciso que o ensino valorize estratégias que considerem as possíveis interações eletrostáticas entre as partículas subatômicas, para que posteriormente, o aluno comece a reconhecer as atrações intra e inter partículas. Muitas vezes o ensino não se atem a essas particularidades e apresenta para os alunos um modelo de átomo pronto e acabado, não auxiliando o aluno na compreensão do mesmo.

Segundo, França (2009) o ensino, às vezes, não se preocupa com a discussão do termo *modelo*, e os modelos são apresentados aos alunos de forma superficial, dando uma ideia de que os cientistas chegaram a uma teoria imutável e definitiva. Ainda, afirma a autora que se esses diferentes modelos não forem acompanhados por uma explicação adequada, poderão gerar mais dúvidas e confusões aos alunos. Para Oyehaug e Holt (2013) é preciso um longo tempo e um grande esforço intelectual para se construir um conceito tão abstrato.

A seguir são apresentadas, no Mapa 2, as ideias sobre a existência de espaços vazios e movimento intra e interpartículas.

Figura 37 – Segundo Mapa Cognitivo da Aluna "A" - Natureza da Matéria: Concepções sobre a existência de movimento e espaços vazios.

A ideia da existência de espaços vazios não foi construída pela aluna, pois durante todos os períodos ela considerou que entre as partículas das substâncias, ou não havia nada (no caso de líquidos) e as mesmas estariam muito juntas umas das outras, ou existiria entre elas, ar ou bolhas (no caso de gases), ou teria mais partículas do mesmo material (no caso de sólidos). A aluna chegou a argumentar: *"se houvesse espaços vazios entre as partículas, então seria possível ver as partículas, pois elas poderiam crescer"*.

Parece que, a aparente visão contínua da matéria apresentada pela aluna, como já discutido anteriormente pode estar dificultando a construção da ideia da existência de espaços vazios, que segundo Adadan, et al., 2010, é uma ideia contra intuitiva. Em seus estudos a autora encontrou que os alunos consideram existir entre as partículas das substâncias, ar, poeira etc., o que corrobora com os achados desta pesquisa. Para Pozo (2009), a concepção alternativa mais comum entre os alunos sobre a continuidade da matéria, no caso dos sólidos, é a de que não há, sequer espaços vazios entre as partículas.

Talanquer (2009), argumenta que em vários níveis de escolaridade os alunos não creem na ideia de espaços vazios, atribuindo propriedades macroscópicas às partículas, tais como, ideias ligadas a expansão das mesmas. A aluna A, também apresentou concepções alternativas, quando comentou que as partículas poderiam crescer e ocupar espaços vazios se esses existissem, como visto na Figura 37 (4º período).

A aluna não construiu a ideia do movimento intrínseco das partículas e associou o movimento das mesmas a fatores como, variação de temperatura, ar, vento, bolhas e até mesmo, usou concepções animistas, como o envelhecimento das partículas, motivo pelo qual elas deixariam de se movimentar, como se verificou na Figura 37. Não houve, durante os períodos manifestação pela aluna de ideias sobre o movimento das partículas subatômicas, ideias estas, importantes para explicar alguns fenômenos físicos, tais como: dilatação, mudanças de estado físico, compressão e expansão de gases, osmose.

Segundo Treagust et al. (2009) para facilitar a melhor compreensão sobre as ideias de movimento das partículas os alunos deveriam ser expostos a uma série de experiências em contextos diferentes e discutir em grupos as experiências relevantes observadas em termos de partículas. Sugerem esses

autores, a utilização no ensino, de estratégias que incluam modelos, analogias e simulações computacionais.

Diante desta análise, com foco nos conceitos da 1ª dimensão, os modelos explicativos da aluna foram classificados em níveis de compreensão, considerando os dados das entrevistas e os depreendidos dos mapas cognitivos. Assim, na Tabela 1 são indicados os níveis de compreensão alcançados pela aluna, por conceito e por dimensão, ao longo do estudo longitudinal.

Tabela 1 - Nível de Compreensão da Aluna “A” - 1ª Dimensão de Análise

1ª Dimensão Natureza da Matéria Conceitos Explorados		Fases da Coleta de Dados					
		1º	2º	3º	4º	5º	
		Período	Período	Período	Período	Período	
		Pré- teste	1ª	2ª	Entrevistas		Pós- teste
				3ª	4ª	5ª	
Modelos Explicativos em Nível Submicroscópico	Crenças da natureza corpuscular da matéria.	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
	Modelos representativos para o átomo.	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0
	Reconhecimento do núcleo do átomo.	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0
	Reconhecimento da eletrosfera e do elétron.	2,0	1,0	2,0	1,0	3,0	2,0
	Ideias sobre a existência de espaços vazios entre as partículas.	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0
	Ideia sobre a existência de movimento entre as partículas.	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Nível de Compreensão na Dimensão por Período		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Na sequência, no Quadro 38 apresenta-se a visão panorâmica do nível de compreensão da aluna na dimensão de análise em cada período ao longo do estudo. Esse quadro possibilitou uma visão geral do desenvolvimento de seus modelos explicativos por período.

Quadro 38 - Níveis de compreensão da aluna "A" por períodos - 1ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,0	Boa	Adequado								
3,0	Alguma	Parcialmente Adequado								
2,0	Vaga	Inadequado	★		★	★	★	★	★	
1,0	Insuficiente		★							

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise.

Para verificar as concepções da aluna A, em relação à natureza elétrica da matéria as seguintes ideias foram exploradas: concepções sobre a perda de elétrons (indicações de situações sobre o fenômeno com manifestação de explicações), concepções a respeito da situação: "escurecimento de um objeto de prata" e ideias sobre a condutibilidade elétrica relacionada à formação de íons e movimentação de elétrons. As principais ideias manifestadas pela aluna são apresentadas na figura 38.

Figura 38 – Terceiro Mapa Cognitivo da Aluna "A" - Natureza Elétrica da Matéria

Apesar de a aluna fazer escolhas corretas de fenômenos que ilustravam a perda de elétrons pelo átomo (formação da ferrugem), ela apresentou inicialmente explicações em nível macroscópico, manifestando novamente concepções alternativas em suas explicações. Nessa fase, já se havia observado que a aluna apresentava uma visão contínua da matéria o que pode ter dificultado que manifestasse concepções em termos de modelos submicroscópicos para explicar os fenômenos.

Além disso, nesse período do ensino (1º e 2º período) se discutiam os conceitos de transformações químicas em nível de explicações macroscópicas, com o objetivo de que o aluno construísse a ideia de que na transformação química ocorreria a formação de novas substâncias e que poderiam ou não apresentar evidências perceptíveis. Não foi apresentada a definição de transformação química considerando ideias de rearranjos de átomos ou de quebras e formação de ligações. Apesar de o modelo atômico de Dalton, ter sido apresentado aos alunos, este não foi explorado, a ponto de que, eles reconhecessem que as transformações químicas são recombinações de átomos o que explica a conservação da matéria nas transformações químicas.

Dessa forma, não se esperava que a aluna pudesse apresentar espontaneamente explicações em nível submicroscópico para fenômenos envolvendo a perda de elétrons. A seguir são apresentadas algumas frases da aluna, que justificam sua visão de continuidade e a presença de concepções alternativas em seus modelos explicativos quando tentou explicar os fenômenos: formação da ferrugem, escurecimento de objetos de prata, a reação da palha de aço com sulfato de cobre: *"A ferrugem é a corrosão do ferro", "Eu acho que os átomos vão morrendo e por isso a correntinha escurece", "a palha de aço enferruja e muda de cor"*.

Mesmo no ensino o professor ter apresentado conceitos relacionados à estrutura atômica, partículas subatômicas (3º período) e suas relações com as propriedades da matéria, a aluna, continuou apresentando dificuldade em articular essas ideias, pois não reconheceu que um átomo pode perder elétrons e não construiu a ideia de íon.

Para ela, o átomo pode ganhar elétrons e não perder, pois ficaria desestruturado. Algumas frases explicitam essa concepção apresentada pela aluna. *"Quando o átomo ganha elétrons, ele não deixa de ser um átomo, apenas*

se modifica, mas se ele perde elétrons ele deixa de ser um átomo, ficando mais forte". "Se o átomo perder elétrons ele deixa de ficar arrumadinho". "O átomo não pode perder elétrons, pois próton é igual a elétron" ideias depreendidas da figura 38.

Pode-se inferir, que devido a aluna não apresentar um modelo de átomo com a definição de suas partes e partículas, como verificado anteriormente (quando posicionou as partículas do átomo fora do mesmo) isto tenha dificultado sua compreensão, de que, um átomo pode perder elétrons. Talvez ela possa estar pensando que, se essas partículas são externas ao átomo, como poderia ele perder elétrons?

Quanto a formação de íons, apesar de não compreendê-la, a aluna fez as seguintes escolhas para representar um íon sódio, como mostra a Figura 39.

Figura 39 - Representação do íon sódio pela aluna "A"

A aluna afirmou que a presença dos sinais (+) positivo e (-) negativo, seria para ela, uma espécie de energia, presente somente em íons e não em átomos. Tal explicação, pode ter sido influenciada pela proposta de ensino usada pela professora, na qual, estavam se discutindo a condutibilidade elétrica de soluções e metais, para ampliar as ideias do modelo de Dalton. Nas manifestações da aluna não foram utilizadas ideias de forças eletrostáticas para explicar a formação de íons e, não foi estabelecida nenhuma relação entre a estrutura interna da matéria e a formação de íons.

A falta de compreensão sobre as cargas elétricas das partículas fundamentais do átomo e suas interações eletrostáticas, parece ser uma barreira, para que a aluna avance no entendimento da formação dos íons e na explicação dos fenômenos citados.

Não compreender como um íon se formou, refletiu no modelo explicativo da aluna sobre a condutibilidade elétrica em solução. Inicialmente a aluna forneceu explicações genéricas sobre o fenômeno, com base nos aspectos observáveis dos sistemas (Apêndice B - questão 10), pois manifestou a seguinte

explicação: *"Quando têm energia têm luz e quando não têm energia não têm luz"*.

Na sequência dos períodos, atribuiu a condutibilidade elétrica em solução à movimentação dos átomos. *"Eu acho que junto com a água ele (sal- NaCl) também pode deixar os átomos mais em movimento do que sozinho"*. A aluna não utilizou as ideias que apresentou de partículas subatômicas para explicar a formação de íon. Novamente, isso levou a pensar que, como ela considerou que as partículas não pertencem ao átomo, elas não têm influência na formação do íon. Por isso, pode ter atribuído a condutibilidade ao movimento do átomo e não a de íons.

Sugere-se que as ideias sobre a estrutura do átomo sejam constantemente retomadas e ao professor, caberia o papel de mediá-las, para que ideias como as apresentadas pela aluna fossem reestruturadas para melhor compreensão dos fenômenos.

No caso da aluna A, desde o início a dificuldade que ela apresentou em organizar as noções que possuía sobre a estrutura do átomo têm influenciado em sua compreensão de outros aspectos que estão ligados diretamente a estas ideias, como no caso da formação do íon e a condutibilidade elétrica em solução.

Durante o estudo longitudinal, também foi sugerido a aluna a pensar sobre a condutibilidade elétrica nos metais considerando a movimentação de elétrons. Inicialmente, ela associou a condutibilidade ao material, afirmando: *"todo material condutor tem ferro"*. Fato esse que, pode estar relacionado com sua experiência cotidiana e escolar, pois é usual aos alunos, associarem o ferro como um bom condutor de energia elétrica. Segundo Pozo et al. (1991), as possíveis causas do surgimento dessas ideias alternativas ou errôneas dos estudantes podem estar ligadas a um pensamento dominado pela percepção, interesse pelo aparente, raciocínio causal linear.

Entre o 3º e o 4º período, a aluna tentou explicar a condutibilidade elétrica dos metais considerando a existência de elétrons, apresentando os seguintes argumentos: *"Eu acho que é porque no meio dos átomos tem esses elétrons e quando você encosta alguma coisa que possa transmitir energia"*, *"Acho que eles devem ter mais elétrons e prótons e isso deve passar mais corrente elétrica. Por causa da transformação. Eu acho que é uma transformação química e aí eles*

ficaram com mais elétrons e mais prótons. Aí eles começaram a conduzir a energia".

A aluna, de certa forma está tentando utilizar um modelo de partículas para explicar a condutibilidade elétrica, no entanto, percebe-se pela sua fala, que seu modelo de átomo, ainda dificulta sua visão dos fenômenos, pois ela argumentou, "os elétrons que estão no meio dos átomos". Parece que ainda não reconhece que os elétrons fazem parte da estrutura dos átomos. Por fim, explicou a condutibilidade elétrica associando-a ao movimento do átomo e não dos elétrons, como havia feito inicialmente, retornando a suas concepções.

A dificuldade que se observa no entendimento da aluna sobre a natureza elétrica da matéria pode estar ligada a ausência de um modelo estrutural do átomo. Segundo Luffiego (2001) se as ideias prévias e os novos conhecimentos são incompatíveis, o novo conceito pode se tornar cada vez mais estruturado, enfraquecendo o conhecimento prévio por falta de ativação. No entanto, quando há coexistência de ambos os conceitos pode ocorrer o domínio do conhecimento prévio sobre o novo conhecimento e, esse último, uma vez não reforçado, poderá ser extinto, o que justifica o fracasso do ensino de alguns conceitos científicos.

Nessa 2ª dimensão de análise, na Tabela 2 são evidenciados os níveis de compreensão da aluna "A" e no Quadro 39 a evolução do nível de compreensão da aluna por período.

Tabela 2 - Níveis de Compreensão da Aluna “A” - 2ª Dimensão de Análise

2ª Dimensão		Fases da Coleta de Dados						
Natureza Elétrica da Matéria		1º Período	2º Período	3º Período		4º Período	5º Período	
Conceitos Explorados		Pré-teste		Entrevistas				
			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação com manifestação de explicações).	2,5	2,5	2,0	NE	2,0	2,0	2,0
	Condutibilidade elétrica considerando a formação de íons.	1,5	NE	NE	2,0	2,0	2,0	2,0
	Condutibilidade elétrica considerando a movimentação dos elétrons.	NE	NE	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Nível de Compreensão na Dimensão por Período	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista.

Quadro 39 - Níveis de compreensão da aluna “A”, por períodos - 2ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0										
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado								
3,0										
2,5	Vaga	Inadequado	▲	▲						
2,0					▲	▲	▲	▲	▲	
1,5	Insuficiente									
1,0										

Legenda: (▲) 2ª dimensão de análise.

Na figura 40, estão relacionadas as concepções da aluna “A” sobre os conceitos de interações intra e inter partículas. Foram apresentadas neste mapa as concepções manifestadas pela aluna sobre transformações químicas considerando a quebra e a formação de ligações químicas e, ideias sobre forças intermoleculares na explicação da mudança do estado físico da água de líquida para sólida com aumento de volume, e a maior volatilidade do etanol em relação à da água, entre outras situações exploradas nas entrevistas e situações afins.

Figura 40 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções da Aluna "A", para os conceitos de interações intra e inter partículas

Inicialmente a transformação química foi entendida pela aluna como a quebra de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e o desaparecimento da substância. Anderson (1986) em estudo feito com alunos entre 15 a 18 anos, também encontrou ideias relacionadas à transmutação de uma substância nas explicações sobre transformação química. Em seu estudo, os alunos consideravam que a substância poderia transmutar em outra ou parcialmente em energia podendo desaparecer.

No entanto a aluna “A” seguiu explicando a transformação com base nos aspectos perceptíveis. Como já mencionado anteriormente, nessa fase do ensino a professora de química estava desenvolvendo ideias sobre as transformações químicas com foco na formação de novas substâncias sem apresentar um modelo corpuscular da matéria. Talvez, por esse motivo a aluna se ateuve aos aspectos perceptíveis da transformação química sem que avançasse para modelos explicativos em nível submicroscópico.

No entendimento da aluna tudo é transformação, como se observa em seu argumento: *“É uma coisa que você mistura com outra e que muda”. Nem sempre muda, mas... Muda! Ah! Tipo: tem vários jeitos para mudar. Pode mudar de sólido pra líquido, pode mudar de líquido pro sólido. Pode mudar a cor.*

Pela sua fala, foi possível perceber que ela faz confusão em distinguir entre uma transformação química e uma mudança de estado físico. Não parece pensar no conceito mais amplo de transformação química, como a interação entre materiais e entre materiais e energia, o que pode ser justificado, uma vez que o ensino não enfatizou estes aspectos e valorizou a classificação dos fenômenos como transformações químicas ou transformações físicas.

Mesmo quando questionada sobre a diferença entre as transformações, queima da gasolina e dissolução do sal (cloreto de sódio) a aluna argumentou que a gasolina se transforma porque evapora, mas o sal não, segundo ela, o sal dilui e, na sua visão ele se transforma em “pedaços menores”. *Ah! Ele, tipo ele se transforma inteiro, ele não, não dá para voltar ele ao normal. Ele, como se fala, ele se transforma, é ele se transforma inteiro não tem como fazer ele voltar ao normal. “Ele fica em pedaços de novo”.* Este argumento utilizado pela aluna, corrobora para se pensar que, na visão da aluna o conceito de transformação química, ainda está indefinido. Ela parece relacionar, por exemplo, a

"transformação a que se refere ao sal", não a um rearranjo de átomos e sim a modificação do aspecto físico do material.

Durante os períodos que se seguiram (3º ao 5º) a aluna apresentou dificuldades em diferenciar os reagentes dos produtos nas transformações químicas, o que pode ter contribuído para que ela não tenha conseguido pensar na transformação como a quebra e formação de ligações.

No decorrer de suas explicações como apresentado na figura 40, a aluna parece ter entendido que na transformação química ocorreu a formação de novas substâncias, no entanto, ela fez uso de várias ideias alternativas para expressar esta concepção, tais como, "junção de átomos", "mistura de átomos", "aumento de átomos e moléculas". A utilização pela aluna, por várias vezes do termo "junção", pode estar relacionado às propostas de ensino utilizadas, pois esse termo foi empregado pela professora para expressar o rearranjo de átomos na formação de novas substâncias.

Algumas frases da aluna contribuem para se ter uma visão das concepções que ela apresentou: *"Na transformação química a massa se conserva, pois elas se juntam e os átomos aumentam"*, *"Na transformação química os átomos se misturam e ficam todos juntos"*, *"Os átomos das substâncias reagentes se modificam, se juntam e começam a formar outros átomos"*.

A aluna não parece entender que os átomos em uma transformação química não se modificam e sim se rearranjam. Mesmo, sendo apresentado a aluna algumas frases para que escolhesse aquela que melhor representasse suas ideias sobre a transformação química, ela continuou a pensar na "junção" de partículas: *"Elas se juntaram primeiro e depois viram o quanto seria possível misturar de cada uma"*. Parece até pensar na proporção em que as substâncias reagem, mas suas concepções sobre "junção e mistura" continuam recorrentes.

Para explicar a diferença da quantidade de energia liberada na queima do gás hidrogênio em comparação com a do gás metano, ela não usou em suas justificativas ideias sobre quebra e formação de ligações com o envolvimento de absorção ou liberação de energia, embora essas ideias estivessem sendo discutidas no ensino pela professora. Explicou que o gás metano, por ter mais "moléculas de oxigênio", liberava mais calor. Como se nota, a aluna não

avançou, em utilizar concepções em nível submicroscópico para explicar uma transformação química.

Segundo Benarroch (2001) a aluna pode não ter elaborado esquemas operatórios para que essa concepção pudesse ser construída. Em nenhum momento, ela utilizou ideias sobre as forças eletrostáticas para explicar uma transformação química.

Considerando a ausência de compreensão sobre a existência de forças eletrostáticas, as explicações da aluna sobre fenômenos que envolviam ideias de interações inter e intra partículas ficaram comprometidas. As concepções da aluna pareciam variar entre explicações em nível macroscópico e submicroscópico. Várias situações foram apresentadas para que a aluna manifestasse suas concepções.

Inicialmente, a mudança de estado físico da água líquida para sólida, em que há aumento de volume, foram explicadas pela aluna de forma genérica, não evidenciando compreensão do fenômeno em termos de explicações em nível atômico molecular. Ela usou como argumento: "*Quando a água passa de líquida para sólida o tamanho aumenta porque vira uma pedra dentro da garrafa*". Para explicar a volatilidade do álcool etílico em relação à da água, também não utilizou ideias em nível atômico molecular não estabelecendo relações com forças eletrostáticas. A aluna explicou o comportamento do álcool com a densidade do mesmo que segundo ela, seria menor do que a da água. Não se esperava respostas mais elaboradas pela aluna nessa fase inicial do ensino, pois o assunto não havia ainda sido explorado em sala de aula.

No 2º período, apesar de manifestar explicações com a utilização de elementos submicroscópicos (átomos, moléculas, partículas) suas explicações apresentaram concepções alternativas. Ao se referir à mudança de estado físico da parafina em relação à do ferro, teceu considerações a respeito da composição das substâncias, considerando que a parafina era mais fusível do que o ferro. Ainda argumentou que o ferro demorou mais para fundir, pois continha mais átomos do que a parafina. "*Eu acho que o metal ele é composto por mais átomos do que a parafina. Acho que é por isso*". É possível perceber que em um primeiro momento a aluna apresentou ideias com base nos aspectos observáveis (macroscópicos) e depois tentou justificar com ideias em nível submicroscópico, utilizando explicações que envolviam a presença de átomos.

Para explicar o espalhamento do gás de "botijão", a aluna atribuiu a movimentação do gás à ação do ar ou vento. Considerou que as partículas do gás estão juntas, mas em contato com o ar elas se separam. Não utilizou ideias de interações eletrostáticas. Sua explicação ficou em nível macroscópico. *"Não sei, acho que o ar faz com que o gás se espalhe por todo lugar". "Eu acho que quando ela tá dentro do botijão elas estão todas juntas. Assim elas estão todas juntas lá e depois na hora em que elas vão sair, entram em contato com o ar e eu acho que fica mais fácil pra elas saírem dali do que quando estão lá dentro do botijão".* A aluna parece ter a ideia de que o ar está sob pressão.

Para explicar a dissolução do gás oxigênio na água, justificou que a água "prende o oxigênio", mas não relacionou este fato às forças de atração entre as partículas, ou seja, interações eletrostáticas. Além disso, confundiu o ar com o gás oxigênio, e argumentou que os átomos do "ar" e da água, são os que fazem o gás oxigênio ficar ligado à água. A aluna dá sinais de que tem um modelo em elaboração, para tentar explicar o fenômeno, mas ainda assim, alternativo: *"Então, eu acho que é porque as duas substâncias, as substâncias que tem na água fazem com que o oxigênio fique lá. Prende o oxigênio lá". "Eu acredito que os átomos do ar e o da água não se misturam, mas meio que ficam em contato e os dois juntos fazem com que o oxigênio fique lá dentro da água".* Parece existir um misto entre concepções em nível macroscópico e submicroscópico, na tentativa de explicar o fenômeno da dissolução do oxigênio em água. Segundo Adadan (2010), isto se reflete na presença de um modelo híbrido de pensamento.

Já no caso da dissolução do açúcar em água a aluna apresentou um modelo submicroscópico sem considerar as interações eletrostáticas em suas explicações, levou em conta o tamanho dos átomos que compõem as substâncias que, segundo ela, por serem de tamanhos diferentes, possibilitou a dissolução. Foi possível perceber que a aluna transitou novamente entre uma visão macro e submicroscópica. *"O açúcar dissolve na água? Então, eu acho que os átomos do açúcar eles são, como posso explicar? Não que eles sejam mais fáceis. É que eles sendo menores do que os da água e com isso faz com que os da água, faz com que o açúcar não se dissolva. Mas entre mais em contato do que a água. Entendeu?"*.

No 4º período, as concepções da aluna foram se ampliando do nível macroscópico para o nível submicroscópico, ainda que, nesse nível não se apresentassem coerentes às de um modelo científico. A aluna começou por considerar que a dissolução do sal (NaCl) em água ocorreu por ele ser mais "*denso, forte e fino*". No decorrer das entrevistas, ela ampliou a sua explicação comentando que as partículas do sal, estariam perto dos átomos da água. Aparentemente a aluna parece pensar que exista atração entre as mesmas.

Para uma mistura de álcool e água, a aluna considerou que a contração de volume observada se devia a uma reação química que ocorria entre ambos, não utilizou ideias sobre forças de interações eletrostáticas. Quando, foi apresentado à aluna, as fórmulas do álcool etílico e da acetona, bem como suas temperaturas de ebulição, ela comentou que a acetona apresentava uma temperatura de ebulição menor por ter menos moléculas do que o álcool. Fez essa indagação, pois comparou as quantidades de átomos de carbono nas moléculas. Ela não utilizou, concepções sobre forças eletrostáticas em suas explicações.

A aluna, também não conseguiu explicar o fato de que o álcool etílico e o gás carbônico apesar de apresentarem massas molares próximas seus estados físicos eram diferentes. Sobre a diferença de solubilidade, entre os sistemas: álcool e água e óleo e água, ela justificou esse fato, assumindo como causa, que no primeiro sistema ocorria a solubilização pois os átomos se separariam e no outro sistema, não havia separação dos átomos.

Apesar de na entrevista terem sido apresentadas várias situações para que a aluna pudesse construir o conceito de forças intra e inter partículas para poder explicar fenômenos que fazem parte de seu cotidiano, a aluna não os elaborou. Segundo Vergnaud (1990), pode ser que a aluna não disponha em seu repertório de competências para tratar as situações que foram a ela apresentadas.

Na Tabela 3 são mostrados os níveis de compreensão da aluna para os conceitos abordados na 3ª dimensão de análise. E no Quadro 40 representou-se os níveis de compreensão alcançados pela aluna nessa dimensão.

Tabela 3 - Níveis de Compreensão da Aluna “A” - 3ª Dimensão de Análise

3ª Dimensão Interações Intra e Inter partículas Conceitos Explorado		Fases da Coleta de Dados					
		1º Período	2º Período	3º Período		4º Período	5º Período
		Pré-teste	1ª	ENTREVISTAS		5ª	Pós-teste
				2ª	3ª	4ª	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Transformação química considerando as interações intra partículas (rearranjo entre as partículas).	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	<i>Interações Intra partículas considerando: mudança de estado físico.</i>	1,5	NE	2,0	2,5	2,0	1,0
	Interações Intra partículas considerando: volatilidade, solubilidade e outras propriedades.	1,5	NE	2,0	2,0	3,0	2,5
	Nível de compreensão na dimensão por período	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista

Quadro 40 - Níveis de compreensão da aluna “A”, por períodos - 3ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0										
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado								
3,0										
2,5	Vaga	Inadequado								
2,0				●	●	●	●	●	●	
1,0	Insuficiente									
1,5			●							

Legenda: (●) 3ª dimensão de análise.

Considerando as três dimensões de análise e os níveis de compreensão dos modelos explicativos da aluna “A” ao longo do estudo longitudinal, no Quadro 41 é ilustrado o desenvolvimento conceitual da aluna, atingido nesse estudo.

Quadro 41 - Desenvolvimento conceitual da aluna “A” ao longo do estudo longitudinal considerando as dimensões de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós - Teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0										
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado								
3,0										
2,5	Vaga	Inadequado								
2,0			★	▲●	★▲	★▲	★▲	★▲	★▲	
1,0	▲		★							
1,5	●									

Legenda: (★) 1ª dimensão, (▲) 2ª dimensão, (●) 3ª dimensão.

Os dados mostraram que a aluna durante todo o estudo longitudinal, apresentou modelos explicativos com inadequações e com vaga compreensão dos conceitos submicroscópicos.

A aluna afirmou que a matéria é formada por átomos e justificou isto, com base em seus estudos escolares e estudos científicos. Apesar de a aluna ter escolhido como modelo representativo para o átomo o modelo de Rutherford, ela representou o átomo, durante o estudo longitudinal, na maioria das vezes, como pequenas "bolinhas agrupadas". A aluna não distinguiu as partes do átomo (núcleo e eletrosfera) e as partículas subatômicas que o compõem.

Não concebeu a existência de espaços vazios entre as partículas constituintes das substâncias, manifestando ideias de que entre as partículas de uma substância gasosa deva existir ar, nas líquidas, sugeriu que não existe nada, e nos sólidos, mais partículas do mesmo material. A ideia de movimento foi associada ao estado físico da matéria ou a fatores externos, tais como bolhas de ar e temperatura.

Quanto às concepções sobre a natureza elétrica da matéria, embora tenha escolhido situações indicativas de fenômenos sobre esta natureza, não apresentou explicações que denotaram ter alguma abstração do fenômeno. Seus modelos explicativos apresentaram-se constantemente com a presença de explicações alternativas, com considerações de que o átomo ao perder elétrons ficava desestabilizado. A aluna foi persistente na ideia de que o átomo pode ganhar elétrons, mas a ideia da perda de elétrons não fez parte constituinte de suas concepções.

Ideias de que a estrutura atômica está relacionada à formação de íons e às interações intra e inter partículas não foram construídas pela aluna. A condutibilidade elétrica foi associada, por ela, à movimentação de átomos e não de elétrons.

Ao explicar uma transformação química, embora em seus modelos explicativos aparecessem elementos submicroscópicos, ocorreram concepções alternativas, demonstrando que ela pensa nesse fenômeno como a "junção de átomos", mas não considerou o rearranjo entre átomos, em função da quebra e formação de ligações. Também, não mostrou compreensão na diferenciação de uma transformação química e a mudança de estado físico.

A ausência, em sua estrutura cognitiva de elementos fundamentais sobre a estrutura interna dos átomos, considerando suas partes, partículas e interações elétricas intra e inter partículas, comprometeu sua compreensão sobre outros fenômenos que necessitavam desse conhecimento.

Não houve uma evolução conceitual marcante, o que implica, segundo Benarroch (2001), que os esquemas operatórios da aluna não são suficientes para que atinja um nível maior de abstração, permanecendo seus modelos explicativos pouco elaborados dificultando uma resposta mais elaborada.

Muitas concepções alternativas ficaram firmes em sua mente do começo ao final do estudo longitudinal, tais como a ideia dos átomos figurarem como "bolinhas", a percepção da matéria como contínua, e a forte influência dos aspectos observáveis da matéria com a transposição dessa visão a um mundo submicroscópico.

✓ **Análise do desenvolvimento conceitual do aluno "B"**

Inicialmente o aluno "B" apresentou a crença de que a matéria era formada por átomos. Seguiu comentando que a matéria não pode ser destruída, mas apenas modificada. Representou a matéria fornecendo como exemplo, a mistura de água e sal, considerando que a mesma era formada por moléculas apresentando em seu desenho erros conceituais, tais como a indicação do sal (cloreto de sódio) como "moléculas de sal", como apresentado na figura 42 - 1ª entrevista e Figura 41.

Figura 41 - Representação de um sistema de água com pouco e, com muito sal.

Durante todos os períodos a ideia de a matéria ser constituída por átomos esteve presente nas concepções do aluno "B", apresentando como justificativa os estudos dos cientistas: "*Muitos cientistas tentaram provar essa ideia*". Citou

também a existência de partículas. Ficou em dúvida entre o termo partícula e átomo, ou seja, se um termo poderia ser indicativo do outro.

Essa dúvida também pode estar presente nas ideias de outros alunos. Desta forma, durante o ensino de química, recomenda-se que esse termo seja esclarecido. É comum, nas aulas de química, os professores utilizarem a palavra partícula como uma maneira de se referir aos átomos, íons, elétrons. Isso, pode gerar confusões no entendimento dos alunos, mesmo porque eles podem estar pensando em partículas como sendo "pequenas partes visíveis da matéria".

O aluno "B", foi capaz de citar exemplos, de situações nas quais ele pensou na existência de átomos, tais como, o corpo, a carne, a madeira, o granito, o ar, etc. No, final do período, a ideia de que tudo seria formado por átomos persistiu e o aluno fez a seguinte colocação: *"Acredito, pois as mentes mais brilhantes da ciência levaram muito tempo para propor tal teoria e explicá-la de uma forma que os outros a entendam e realizem ainda mais pesquisas e descobertas sobre os átomos"*.

Escolheu como modelo indicativo do átomo o modelo de Rutherford, reconhecendo o núcleo corretamente, mas definindo-o de forma incorreta como sendo um grupo de prótons que se movimentam ao redor de um centro de nêutrons. Confundiu-se ao identificar a eletrosfera, atribuindo a mesma o nome de elétron. O elétron por sua vez foi reconhecido pelo aluno como próton. Apesar de apresentar noções sobre as partes constituintes do átomo, cometeu vários erros na sua identificação.

Em um estudo sobre analogias realizado por Souza et al. (2006), os autores apontam que tanto nos desenhos, quanto nas falas dos alunos existe a dificuldade de os alunos representarem a abstrata ideia do átomo e eles acabam cometendo muitos erros em suas afirmações e desenhos, tais como: "o átomo como a menor partícula do núcleo"; "os elétrons entre as camadas". Esses dados corroboram com a análise feita para esse aluno.

Figura 42 – Primeiro Mapa Cognitivo do Aluno “B” - Natureza da Matéria: Crenças da constituição da matéria e estrutura do átomo

No 2º período o aluno indicou o átomo como uma esfera indestrutível. Esta visão pode estar relacionada ao fato de que o aluno estava sendo iniciado no modelo de Dalton. Em seguida, o aluno começou a elaborar um modelo de átomo com formato de anéis apresentando no centro várias bolinhas. Como indicado na figura 42 - 3ª entrevista. Nesta fase, o ensino estava discutindo sobre o modelo atômico de Rutherford, o que pode ter contribuído para que o aluno tenha ampliado sua visão do átomo.

Considerou a existência de prótons e nêutrons se movimentando nesses anéis, os quais foram por ele referidos como os planetas do sistema solar. Ainda manteve sua concepção de que os prótons e nêutrons não estariam situados no núcleo do átomo. Atribuiu a essas partículas a responsabilidade pela condução elétrica dos materiais. O aluno passou a representar seu modelo semelhante ao modelo de Rutherford e mostrou ter evoluído em considerar a existência de partículas (prótons, nêutrons e elétrons), embora tenham ocorrido no seu modelo erros conceituais (3º período).

É importante salientar que nessa fase do ensino a professora apresentou os modelos atômicos com a utilização de um vídeo, que foi mostrado rapidamente, sem que houvesse discussões e interação dos alunos. No ensino do modelo atômico não foram exploradas ideias sobre a estrutura interna do átomo, diferenciando suas partes e partículas. Isto pode ter dificultado a compreensão, pelo aluno, das partes e partículas do átomo.

Na visão da professora seria suficiente se o aluno soubesse da evolução dos modelos, o que se verificou pela sua fala: *"Eles conseguem entender que tem a ver com a carga elétrica. O que eu acho que é difícil para eles é entender o modelo, como um conjunto de informações, ou seja, que tem as cargas positivas e negativas. Até pra gente é difícil, não é? [...] Eu acho que se o aluno sair sabendo que existem modelos diferentes, que houve uma evolução nos modelos e saber que muitas das propriedades da matéria estão relacionadas com o modelo atômico, mesmo que ele não consiga identificar a parte positiva da parte negativa, mas que ele saiba que tem alguma coisa a ver com o modelo atômico e que isso vai ligar com ligações químicas já é um ganho".*

Diante dessa visão surge um questionamento: como é possível ao aluno desenvolver a compreensão sobre ligações químicas e outros conceitos que necessitam dos conceitos em nível submicroscópico relacionados à estrutura do

átomo? É importante que no ensino o professor valorize o aprofundamento de ideias sobre a estrutura da matéria antes de investir em outros conceitos dependentes dessas concepções, definindo e diferenciando as partículas subatômicas. A dificuldade em elaborar um modelo coerente de átomo pelos alunos pode estar relacionada ao fato de que eles constroem seus modelos baseados nos modelos que os professores lhes apresentam, os quais podem induzir a falhas (GALIAZZI, et al., 1997).

Ao final do 3º período, o aluno passou a representar o átomo como indicado na figura 42 - 4ª entrevista, apresentando corretamente o núcleo, mas ainda continuou definindo-o de forma incoerente, pois argumentou que no núcleo ocorrem prótons e elétrons. Notou-se que nessa fase, o aluno passou a representar o próton como constituinte do núcleo, mas ainda cometeu erros na representação do núcleo. A eletrosfera foi reconhecida pelo aluno como órbitas, sendo apontada por ele como semelhante ao sistema solar. O aluno comentou que faz confusão quando pensa nas cargas positivas e negativas do átomo.

No 4º período apresentou um modelo de átomo mais elaborado como mostra a figura 42 – 5ª entrevista e fez indicações corretas do núcleo e eletrosfera. Ampliou e avançou nas concepções de que no núcleo podem existir prótons e nêutrons e na eletrosfera elétrons orbitando ao seu redor.

Além disso, o aluno expressou a concepção de que podem existir partículas no átomo e que estas estão interagindo com outras de outros átomos, e o núcleo aparece como o responsável por manter as orbitas do átomo. Apresentou boa compreensão e demonstrou evolução em suas estruturas de compreensão, pois ampliou e refinou suas explicações sobre a estrutura do átomo. No entanto, o aluno continuou confuso com relação às cargas positivas e negativas das partículas subatômicas. Aquelas que seriam indicativas do elétron.

No final dos períodos o aluno escolheu o modelo de Rutherford como representativo do átomo indicando e definindo corretamente seu núcleo. Não se reportou à eletrosfera, mas indicou os elétrons na mesma. Ideias sobre a existência de espaços vazios entre as partículas constituintes das substâncias não foram, inicialmente, consideradas pelo aluno, pois ele indicou que nos líquidos não existiam espaços vazios uma vez as partículas estariam muito juntas e não poderia, assim, existir nada. Para os gases, considerou a existência

de ar entre as partículas e para os sólidos afirmou ter mais partículas do mesmo material. Entre os 2º e 3º períodos surgiram as primeiras ideias sobre o fato de que entre os átomos não existiria nada, mas em seguida o aluno passou a considerar a existência de mais átomos.

Quanto às suas concepções sobre o movimento das partículas, o aluno iniciou considerando que nos líquidos as partículas apenas se movimentariam sob agitação do sistema. No caso do gás, comentou que as partículas estão sempre se movimentando e que existiriam bolhas de ar que as empurravam. No caso dos sólidos pensou nas partículas como imóveis e sempre paradas.

Para explicar o odor do gás de cozinha se espalhando, argumentou que suas partículas "voavam pelo local", indicando a presença de concepções alternativas. Considerou que a ação do calor foi capaz de separar as partículas. Para complementar sua explicação o aluno fez conjecturas com a fusão da parafina tentando formular uma explicação. *"Como no caso da parafina. Ela precisa de calor pra separar as partículas dos átomos. Eu acho que no caso de um dia mais quente é mais fácil separar essas partículas dos seus átomos"*.

Pela análise das falas do aluno ficou claro que lhe faltam conhecimentos para ancorar as suas concepções e buscar uma explicação plausível. Nos períodos que se seguiram o aluno passou a considerar que as partículas existentes no átomo estavam em constante movimentação nos anéis do átomo, conforme indicado na figura 42 - 3ª entrevista. Embora tenha oscilado entre as ideias da existência ou não de vazio, parece que esta ideia foi aos poucos construída pelo aluno. Quando foi levado a pensar em seu modelo de átomo considerou que entre as partículas do átomo não existia "nada" e chamou de vácuo. Parece, nesse momento, que o aluno conseguiu organizar suas concepções e atribuir a existência de vazio. Comentou que entre elétrons e núcleo existia o vazio e que quanto maior fosse a distância entre as partículas do núcleo e da eletrosfera menor seriam as interações entre as mesmas. Comentou que o movimento das partículas estaria relacionado à interação entre os átomos.

Figura 43 – Segundo Mapa Cognitivo do Aluno "B" - Natureza da Matéria: Concepções sobre a existência de movimento e espaços vazios

Para explicar o que pensava sobre o que ocorreu entre os átomos de uma placa constituída de cobre, o aluno ficou entre a ideia da existência de espaços vazios ou da existência de ar, mas logo fez a opção por espaços vazios. Notou-se que o aluno articulou entre suas concepções em nível macroscópico e submicroscópico e mudou, sem dificuldades, entre as duas representações.

A seguir apresenta-se a classificação dos níveis de compreensão do aluno para cada conceito da 1ª dimensão de análise Tabela 4 e no Quadro 42 mostra-se a visão panorâmica do nível de compreensão do aluno.

Tabela 4 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “B” - 1ª Dimensão de Análise

1ª Dimensão Natureza da Matéria		Fases da Coleta de Dados						
		1º	2º	3º		4º	5º	
		Período	Período	Período		Período	Período	
		Pré- teste		Entrevistas				Pós- teste
Conceitos Explorados			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	<i>Crenças da natureza corpuscular da matéria.</i>	4,0	4,0	NE	4,0	3,0/4,0	4,0	4,0
	<i>Modelos representativos para o átomo.</i>	4,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0
	<i>Reconhecimento do núcleo do átomo.</i>	2,0	NE	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0
	<i>Reconhecimento da eletrosfera e do elétron.</i>	2,0	NE	NE	2,0	4,0	4,0	3,0
	<i>Ideias da existência de espaços vazios entre as partículas.</i>	2,0	2,0	NE	2,0	4,0	4,0	2,0
	<i>Ideia da existência de movimento entre as partículas.</i>	2,0	NE	2,0	3,0	4,0	4,0	2,0
	Nível de Compreensão na Dimensão por Período	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	4,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista

Quadro 42 - Níveis de compreensão do aluno “B” por períodos - 1ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,0	Boa	Adequado				★	★	★		
3,0	Alguma	Parcialmente Adequado			★					
2,0	Vaga	Inadequado	★	★	★					
1,0	Insuficiente									

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise.

Na 2ª dimensão, a perda de elétrons por um átomo foi inicialmente associada pelo aluno, à ocorrência de uma transformação química. No entanto, apresentou concepções alternativas denotando vaga compreensão, pois ao explicar o escurecimento de um objeto de prata considerou que seus átomos acumulavam impurezas, ideias substancialista da matéria. Isso foi considerado normal, pois o aluno estava iniciando o Ensino Médio e no momento estavam sendo discutidas ideias sobre transformações químicas em nível macroscópico.

Mesmo não tendo sido tratados conceitos em nível submicroscópico, nessa fase (2º período), o aluno, ao explicar a condutibilidade elétrica dos materiais foi capaz de diferenciar entre materiais condutores e não condutores, como indicado na figura 45 - 3ª entrevista, justificando que a diferença entre eles se baseia no fato de que nos materiais condutores, ou seja, os átomos e partículas não se encontravam tão agrupados. Isto demonstrou que aluno pensa na existência de partículas subatômicas, mas não consegue estabelecer a relação destas com a geração de energia elétrica.

Quando o aluno foi instigado a pensar no seu modelo de átomo para dar uma justificativa a fenômenos como a perda de elétrons e a condutibilidade elétrica, ele passou a considerar a hipótese de que os elétrons poderiam estar relacionados a esse fenômeno, apesar de considerar que o átomo era uma esfera indestrutível. Interessante que nesta fase somente o modelo de Dalton tinha sido apresentado aos alunos. Pode-se inferir que este aluno “B” tenha trazido para o Ensino Médio, alguns conceitos que já havia estudado anteriormente e os acionou para tentar explicar o fenômeno. Mas estes não foram explorados previamente pela professora.

No final do 2º período, usou a ideia sobre a existência de elétrons para diferenciar entre os materiais condutores e não condutores de eletricidade. Apresentou a seguinte explicação sobre a condutibilidade elétrica de alguns materiais: *"Pode ser que eles usem os elétrons pra poderem fazer essa condução. Talvez a madeira e o azulejo, não tenham esse elétron igual do aço. Elas podem não ter ou ter em quantidade muito menor esses elétrons, que são necessários pra poder conduzir a eletricidade."*

Essas ideias apresentadas pelo aluno podem estar relacionadas ao ensino, pois nesta fase a professora testou a condutibilidade elétrica de alguns materiais e de algumas soluções aquosas de sais. Durante essa aula os alunos começaram a questionar que o sal (NaCl) teria induzido a formação da corrente elétrica, pois existiam partículas com cargas elétricas. Mas a reflexão sobre a origem dessas partículas não foi alcançada. Os alunos não avançaram em explicações que presumissem a movimentação de cargas elétricas na geração da corrente elétrica e muito menos aprofundaram sobre a associação dessas cargas elétricas a um modelo de átomo mais sofisticado do que aquele que Dalton apresentou.

Apesar das tentativas da professora em fazer questões para suscitar as reflexões dos alunos, ela não teve êxito e acabou explicando: *"A corrente elétrica é gerada pelas substâncias que estão ali dentro, como? Dissolvidas. Eu não consigo ver. Cargas estão se juntando como se fossem uma corrente mesmo para chegar do outro lado e unir os dois pontos. Se a lâmpada não acende é porque essas cargas que estão aqui não são apropriadas nesse sentido. Pelos átomos que estão aqui, como chamam? A gente vai chamar de íons."*

Pela fala da professora notou-se que ela não apresentou um modelo para justificar a condutibilidade elétrica em solução aquosa. Isso pode representar um problema no ensino, pois pode gerar um entendimento errado sobre este conceito. Segundo De Posada (1993), no processo de ensino e aprendizagem algumas concepções podem ser reforçadas devido às interpretações inadequadas pelos alunos considerando o que lhes foi ensinado.

Ao final deste período, no entanto, o aluno começou a considerar a existência de partículas para explicar a condutibilidade elétrica. Mas estas concepções não foram organizadas pelo aluno, pois o mesmo justificou que em fios elétricos se utilizavam o cobre ao invés de chumbo, pois este último é mais

pesado. Percebe-se que o aluno não está utilizando a ideia que apresentou sobre elétrons como fez anteriormente para explicar a condução de corrente elétrica e utilizou explicações apoiadas na aparência do material.

No 4º período a condutibilidade elétrica em uma solução aquosa de cloreto de sódio foi justificada pelo aluno com base na ideia da existência de cargas elétricas que apareciam quando o sal era dissolvido. Apesar do uso de argumentos com a linguagem informal da química notou-se que ele apresentou a concepção da existência de cargas elétricas. Como se observou em sua explicação: *"Eu acho que quando o sal está no estado sólido ele não é suficiente pra conseguir mandar as cargas elétricas. Se ele está junto com a água, solúvel na água conseguem fazer como se fosse um caminho assim pra conduzir essa eletricidade"*. Pode-se perceber nesta fala do aluno a influência do ensino da professora, quando foi citada a presença de cargas elétricas e sua movimentação.

No entanto, o aluno não soube explicar a origem dessas cargas elétricas e muito menos soube falar a respeito dos íons. Ele não conseguiu usar seus conhecimentos sobre a estrutura atômica para que pudesse justificar a presença de cargas positivas e negativas em uma solução aquosa de cloreto de sódio. O ensino da professora não deu subsídios para que esta concepção pudesse ter sido construída. O aluno não foi capaz de distinguir entre o átomo de sódio e o íon sódio como é mostrado na Figura 44.

Figura 44 - Representação pelo aluno "B" do átomo de sódio e do íon sódio

Percebeu-se a dificuldade do aluno em estabelecer relações com os conceitos que havia elaborado sobre seu modelo de átomo e a formação de íons. Sugere-se que o ensino retome constantemente as ideias da estrutura da matéria e auxilie os alunos a pensarem sobre estas ideias mediando a relação entre estes conceitos, pois é difícil aos alunos avançarem sozinhos no estabelecimento destas relações conceituais.

Concepções e utilização de ideias submicroscópicas sobre a natureza elétrica da matéria: Aluno 'B'

Figura 45 – Terceiro Mapa Cognitivo do Aluno "B" - Natureza Elétrica da Matéria

Apesar de não representar corretamente o íon o aluno considerou que para formar o íon sódio o átomo de sódio deveria perder elétrons. No entanto, ao pensar na formação do íon ele comentou que usava os sinais positivo e negativo para representar um íon, mas que não lembra se deveria remover próton, nêutron ou elétron. Isso, dá mostras de que o aluno se utiliza das ideias de formação dos íons de forma algorítmica, sem que soubesse exatamente o significado da perda ou ganho de elétrons na sua formação. Simplesmente aplica uma regra. Isso não é de se estranhar, pois a professora havia proposto pouco antes, no ensino, vários exercícios, para que os alunos em sala de aula indicassem a formação de cátions e ânions, sem valorizar o significado do conceito de íon.

Para explicar a condutibilidade elétrica de uma solução aquosa de cloreto de sódio, o aluno não utilizou essas ideias de íons e acabou por justificar o fenômeno com ideias de interações entre o sal e a água, não avançando com explicações em nível submicroscópico.

No final do período, entretanto, o aluno conseguiu sistematizar seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria, apresentando boa compreensão em relação à diferença existente entre um átomo neutro e um íon. Passou a considerar que um átomo pode perder ou ganhar elétrons, apresentando a seguinte explicação: *"O átomo neutro não está nem carregado positivamente ou negativamente. Por que é como eu disse, quando você faz a interação entre os átomos, eles podem trocar elétrons, então, quando eles trocam esses elétrons eles podem chegar a ficar carregados positivamente ou negativamente. Então, se ele perde no caso, elétrons, ele vai ficar com mais nêutrons ou prótons, eu não lembro. Acho que são prótons então ele não está carregado positivamente. Agora se ele ganha mais elétrons do que o número de prótons, então ele vai ficar carregado positivamente... É. Negativamente, quero dizer".*

O aluno, apesar de apresentar dificuldade em diferenciar que tipo de partícula o átomo deva perder ou ganhar para formar um íon, avançou em seu modelo explicativo ao pensar na interação entre as partículas, pois começou a considerar a interação entre os átomos com o envolvimento das cargas elétricas.

Apresentou concepções de que o sal (cloreto de sódio) é constituído por um aglomerado de íons, no entanto, ao explicar a condutibilidade elétrica de uma solução aquosa de cloreto de sódio, não utilizou a ideia de íons considerando

que o sal é um bom condutor quando interage com a água. Percebeu-se que há por de trás do modelo explicativo do aluno a ideia da existência de cargas elétricas, como indica sua explicação: *"Uma carga positiva é atraída por uma negativa e nunca o contrário então, se elas são positivas e positivas elas não vão se atrair elas vão se repelir, o que acontece é que no caso, quando uma carga negativa é atraída por uma carga positiva eles sentem essa atração uma pela outra e a tendência é de ficarem juntos. Então acontece essa interação entre elas. Acontece isso por isso que há a interação entre os átomos"*.

A seguir apresenta-se a classificação dos níveis de compreensão do aluno para cada conceito na 2ª dimensão de análise, como mostra-se na Tabela 5 e, na sequência, a visão panorâmica do nível de compreensão do aluno Quadro 43.

Tabela 5 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “B” - 2ª Dimensão de Análise

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista

1ª Dimensão		Fases da Coleta de Dados						
Natureza Elétrica da Matéria		1º Período	2º Período	3º Período		4º Período	5º Período	
Conceitos Explorados		Pré-teste		Entrevistas				
			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação com manifestação de explicações)	2,0	NE	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0
	Condutibilidade elétrica considerando a formação de íons	NE	NE	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0
	Condutibilidade elétrica considerando Movimentação dos elétrons	NE	NE	2,0	2,5	4,0	4,0	NE
	Nível de Compreensão na Dimensão por Período	2,0	NE	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0

Quadro 43 - Níveis de compreensão do Aluno "B", por períodos - 2ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0							▲			
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado								
3,0					▲	▲		▲		
2,5	Vaga	Inadequado								
2,0			▲		▲					
1,5	Insuficiente									
1,0										

Legenda: (▲) 2ª dimensão de análise.

Na 3ª dimensão para interpretar uma transformação química o aluno apresentou a ideia de que nesse processo ocorriam quebras de ligações entre os átomos com formação de novas ligações. *"Transformação química pra mim é uma coisa que não é simplesmente a aparência daquela matéria, por exemplo, quando você tem água num certo estado. Por exemplo, uma água no estado sólido, quando ela passa do estado sólido para o líquido ela apenas alterou a sua aparência, o seu estado, a forma que ela está, mas não teve uma transformação, não alterou as propriedades daquela matéria. Então não mudou, não criou uma nova. Então, isso que eu definiria como uma transformação química, uma junção de uma coisa com outra, transformando, criando uma outra".*

Figura 46 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções do Aluno "B" para os conceitos de interações intra e inter partículas

Observou-se que o aluno assumiu que as evidências perceptíveis, tais como: mudança de cor e liberação de gás, são indicações de que uma transformação química possa estar ocorrendo. Evidências essas que segundo o aluno são importantes, mas que nem sempre ocorrem. Inclusive sugeriu a utilização de outros recursos, além da aparência visual, para identificar se na transformação química ocorria a formação de outras substâncias, tais com testes laboratoriais. O aluno definiu a transformação como uma "junção" de substâncias e argumentou: *"Na transformação não se altera apenas a aparência da matéria, mas ocorre a formação de um outro tipo de matéria e as propriedades das substâncias iniciais se modificam"*.

O aluno foi capaz de ampliar seus conhecimentos, uma vez que reconheceu a transformação química na alimentação (processamento de alimentos) e na queima de combustíveis, inclusive citou que na combustão ocorre a formação de água e gás carbônico. Isso mostrou que apesar de usar o termo "junção" ele reconhece que na transformação química se formam novas substâncias. Talvez não tenha conseguido relacionar o fenômeno a modelos explicativos coerentes com os da ciência, pois pode estar faltando ao aluno se articular melhor entre os termos da linguagem da química.

Quando vivenciou, durante a entrevista, o experimento entre a reação do sulfato de cobre aquoso com "palha de aço", o aluno argumentou: *"houve a formação de ferrugem", ou ainda, comentou que a "palha de aço", corroeu devido a ação de fungos". "Deixa eu ver. É como se ela tivesse corroendo. Não tenho certeza. Que nem o. Eu esqueci o nome daquele fungo que fica em portão. Esqueci o nome dele"*.

Embora ele apresente estas ideias alternativas, isto não significa que não tenha uma compreensão sobre a transformação química. A associação do aluno entre a formação de ferrugem com a ação de fungos pode estar ligada a evidências que tenha presenciado antes, em seu cotidiano, relacionadas, por exemplo, ao apodrecimento de um fruto e que pode ter enfatizado suas concepções alternativas. A ausência de limites entre o observável (fenomenológico) e o nível explicativo ou interpretativo (nível atômico-molecular) pode ser um obstáculo que o aluno deve superar para compreender o papel dos modelos teóricos na interpretação dos fenômenos (ROSA; SCHNETZLER, 1998).

No ensino sobre as transformações químicas exemplos como esses, devem vir à tona durante as aulas de química e isso pode ser enfatizado como um momento de provocações para desencadeamento de questionamentos e reflexões por parte dos alunos.

No 2º período, o aluno considerou que em uma transformação química os átomos sofreram transformações e justificou que a matéria se conservou, pois nessa transformação o peso dos átomos foi mantido. Notou-se que a ideia da conservação da matéria não foi relacionada pelo aluno ao rearranjo dos átomos, pois considerou que os mesmos sofreram transformações. O aluno se ateve ao "peso" dos átomos.

Embora, tivesse apresentado uma boa compreensão da transformação química, como visto anteriormente, foi possível perceber que em suas concepções ainda existem ideias em nível macroscópico, ele ainda não apresenta um modelo em nível submicroscópico que justifique a transformação química com coerência. Nesse mesmo período, o aluno seguiu pensando na transformação química considerando a existência de forças de atração entre os átomos e a "junção" dos mesmos na formação de novas substâncias. Notou-se novamente a dificuldade do aluno no emprego do termo coerente para explicitar seu entendimento.

Para explicar a reação química entre soluções aquosas de nitrato de chumbo e iodeto de potássio, o aluno percebeu a evidência da transformação química e argumentou que os sais se "juntaram" talvez por que tivessem se atraindo. Também questionou que após se atraírem não conseguiram mais voltar à forma inicial, pois se formou uma nova substância. Fez uma comparação com a mistura de água e álcool, como expressou: *"Nesse caso aqui eles apenas se juntaram. Então a água e o álcool os átomos simplesmente se juntaram, mas eles não estão formando uma outra coisa. Então eles tão juntos só que continua sendo a mesma coisa. Agora nesse caso como você juntou o chumbo e esse daqui, eles se transformaram em outro produto"*.

O aluno mostrou que compreende a transformação química, mas não consegue usar a linguagem apropriada. A terminologia química lhe falta quando tenta expressar seu entendimento em nível submicroscópico.

Nos períodos finais começaram a surgir ideias de interações entre as partículas nas explicações do aluno. A reação entre gás hidrogênio e o gás

oxigênio, foi explicada pelo aluno quando ele se referiu ao fato de que as moléculas desses gases, quando misturadas, se atraíam e que a causa dessa atração se devia às partículas do átomo de cada substância: próton, nêutron e elétron. Comentou que para atingir a estabilidade precisava ocorrer uma interação entre os átomos. *"Então, por exemplo, para aquela substância atingir a estabilidade precisava compartilhar elétrons"*.

Parece que o aluno, ao falar em estabilidade, está se reportando à ligação química e não a uma transformação química. Ele deve ter pensado sobre a "regra do octeto", que muitas vezes são aplicadas pelos professores como estratégia didática.

No entanto, em outra situação, a transformação química como acontece durante a formação da ferrugem foi novamente explicada pelo aluno, que fez uso de concepções alternativas quando retomou as ideias da ação dos "fungos e bactérias" no processo. *"A ferrugem eu não lembro muito bem, eu não sei se é uma bactéria. Ela começa literalmente a devorar o metal"*.

Este tipo de concepção se mostrou estável e resistente na estrutura cognitiva do aluno, isso pode estar atuando como um obstáculo para sua aprendizagem. É conveniente que outros exemplos similares sejam apresentados aos alunos em diferentes contextos para que eles possam relacionar outras ideias em nível submicroscópico para explicar o fenômeno e superarem essa dificuldade (OYEHAUG; HOLT, 2013)

Tentando ampliar suas concepções, no final do período, considerou que em uma transformação química pode ter havido uma troca de elétrons na interação entre os átomos das substâncias. Segundo ele, os átomos trocam as informações e se transformam, mas os átomos continuam os mesmos, mas com novas informações. O aluno pode estar pensando em rearranjo entre os átomos das substâncias iniciais para formação de novos produtos. As novas informações, as quais o aluno se refere, podem estar relacionadas ao novo produto formado. No final do período o aluno concordou que em uma transformação química ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e há a formação de novas substâncias, demonstrando compreensão do fenômeno.

Inicialmente para justificar o aumento do volume da água, na mudança de estado físico de líquido para sólido, o aluno não explicou a causa, apenas

concordou com o aumento de volume. Diferenciou entre uma transformação química e a mudança de estado físico e considerou que existem forças de atração e repulsão entre as partículas constituintes das substâncias.

Explicou as mudanças de estado físico da água considerando os argumentos: *"Quando a água está no estado sólido é como se as moléculas dela estivessem muito agrupadas. Agora, quando ela está no estado líquido o agrupamento entre as moléculas não é muito grande. Eles são... Não é igual do sólido é menos do que o do sólido senão elas não poderiam tomar forma de qualquer objeto que elas estão. Que nem aqui, está tomando a forma da proveta. E no estado gasoso seria que as moléculas estão muito espaçadas assim, como que eu vou explicar isso? Elas estão um pouco distantes entre elas. Elas não estão juntas, mas elas continuam formando aquela matéria"*.

Pela sua explicação reconheceu a existência de forças de atração e repulsão entre as partículas, mas não soube usar a linguagem formal da química para explicar a mudança de estado físico, no entanto, o aluno apresentou alguma compreensão do fenômeno explicitando um modelo em construção. Também foi interessante verificar que o aluno começou a considerar o envolvimento de energia nas mudanças físicas, pois, explicou que a fusão do ferro exige energia para separação de suas partículas.

Percebe-se que ele incorporou mais um componente em suas explicações, o que pode indicar que novas relações conceituais estão sendo estabelecidas pelo aluno. Os seus esquemas operatórios, responsáveis por um nível de abstração mais elevado, estão possibilitando ao aluno realizar as inter-relações conceituais e levando-o a uma maior reflexão, com manifestação de respostas mais elaboradas (BENARROCH, 2001).

No 2º período, para explicar a fusão da parafina em relação a do metal chumbo, o aluno argumentou que os átomos no metal estariam mais agrupados do que na parafina e que, portanto, havia a necessidade de mais aquecimento. *"Eu acho que é porque tem muito mais átomos agrupados no chumbo do que na parafina"*. *"Assim, por isso que ele precisa aquecer muito mais o chumbo, para poder separar esses átomos. Só que como a parafina eu acho que ela não é tão agrupada assim, então, ela não tem a necessidade de ser tão aquecida numa temperatura tão elevada."*

Notou-se que o próprio aluno se questionou sobre o fato de que, se a parafina sofrer combustão ela poderia voltar a ser parafina sólida novamente. *“Eu fiquei pensando no caso da parafina, porque a parafina depois de queimada ela derrete, no caso”. “Então, a parafina, ela pode voltar a ser aquele molde da vela. Então daí eu fiquei pensando nisso será que a vela pode voltar a ser vela mesmo depois de ser queimada? Eu fiquei pensando um pouco nisso.”*

O aluno não utilizou seus conceitos sobre transformação química para refletir sobre sua dúvida. Infere-se que após o ensino, como foi o caso das transformações químicas e sua diferenciação de mudanças de estado físico, que as concepções alternativas do aluno em relação a esse fenômeno ainda permanecem em sua mente e por esse motivo isso está causando este estado de dúvida no aluno.

Considerando-se que os conhecimentos prévios são muito estáveis e não são ativados com facilidade, o aluno pode ter acionado um conhecimento previamente compartimentalizado em sua mente, não conseguindo estabelecer relações entre antigos e novos conhecimentos sobre transformações químicas, quando tentou fornecer uma explicação (POZO et al., 1991).

No 3º período o aluno iniciou explicando sobre a mudança de estado físico do gás carbônico para "gelo seco", deu o nome de transformação física ao processo, ou seja, sublimação. Considerou que o calor pode influenciar a mudança de estado físico, pois as moléculas, na mudança de estado, ficam mais agitadas e se "expandem" precisando assim de mais espaço. Foi difícil para o aluno usar concepções em nível submicroscópico para explicar o fenômeno em nível macroscópico.

Ao ser levado a refletir sobre o fenômeno, utilizando ideias em nível submicroscópico, o aluno passou a considerar ideias sobre forças de atração, como foi possível observar na sua explicação: *"Ah! Talvez a atração de moléculas de uma substância seja maior ou menor do que a outra"*.

O aluno tentou explicar a diferença entre os estados físicos de algumas substâncias, tais como o álcool e o gás carbônico (4º período). Atribuiu a causa à distância dos átomos. O aluno também considerou que o calor foi responsável pelo aumento do movimento e da interação, comentando que se houvesse mais movimentação os átomos precisariam de mais espaços para se "expandir".

Notou-se que o aluno utilizou as ideias sem a devida reflexão sobre as mesmas. A impressão que causou é a de que vários conceitos vieram a sua mente no momento de fornecer uma explicação plausível, mas ele não os organizou para manifestar sua explicação. Não realizou relações conceituais. Parece que o aluno apresentou várias ideias não estruturadas em sua mente. É preciso que ele saiba reorganizá-las, revê-las e conectá-las. Mas isso é um processo lento e gradual (MARTINEZ, 1999).

Quando se reportou à distância dos átomos, provavelmente, o aluno pôde estar pensando em moléculas, mas confundiu os termos, pois usou o seguinte argumento: *"O que acontece é que a temperatura de ebulição do gás carbônico é muito baixa então, quer dizer que você não precisa aquecer pra transformar em estado gasoso. Acontece a distância entre os átomos, quanto mais afastados esses átomos estão é responsável por eles estarem no estado gasoso"*.

A mudança de estado físico da água líquida para vapor não foi explicada pelo aluno em termos de interações intermoleculares, ele usou a ideia de variação de temperatura. Seus argumentos ficaram em nível macroscópico, não ligando às concepções em nível submicroscópico para explicar o fenômeno.

Para explicar a fusão do ferro continuou insistindo na ideia de interações, tal como explicitou sua explicação: *"Quando está mais frio elas têm uma interação menor, às vezes entre sim e quando a temperatura está mais quente elas têm uma interação muito maior no caso. Se você tem um ferro e você esquentar muito aquele ferro ele pode virar um metal derretido"*.

Notou-se que às vezes o aluno se reportou às interações intra partículas e outras, inter partículas. Ele pareceu confuso em diferenciar entre essas formas de interação. Isso também foi verificado quando ele tentou explicar a formação da mistura heterogênea, atribuindo a causa aos átomos de água, que não atraíam os elétrons do óleo. Percebe-se que o aluno teve ideias sobre as forças de atração, mas parece pensar em termos e ligações químicas. Em nenhum momento utilizou-se das ideias sobre a polaridade das moléculas em suas explicações. Mas este fato pode ser justificado, pois o ensino destes conceitos não foi discutido a ponto de dar-lhe os subsídios para pudesse utilizá-los em suas explicações.

No final do período a volatilidade maior do álcool em relação à da água foi explicada com base na composição dos materiais, ou seja, os elementos presentes no álcool fariam com que ele fosse mais volátil.

Quanto à ideia sobre a solubilidade do sal (NaCl) em água comentou que o mesmo teria "sumido", mas depois refletiu e ofereceu a seguinte explicação: *"É porque ele acaba se juntando com a água, não tenho certeza. Ele se junta com a água. Agora porque ele some não tenho certeza"*.

Ficou claro, pela fala do aluno que ele ainda estava em dúvida sobre o "desaparecimento" do sal (NaCl). Pareceu que o aluno estava pensando na existência de uma interação entre a água e o sal. A ideia do desaparecimento pode estar associada à tentativa do aluno interpretar o fenômeno relacionado a uma transformação química.

Quando presenciou a mistura de volumes iguais de álcool e água considerou que estivesse ocorrendo um aumento do volume devido à "expansão" das moléculas do álcool. Ideia essa, apresentada pelo aluno, que mostrou a presença de concepções substancialistas para a molécula. Ao perceber que houve uma contração no volume estimado da mistura (álcool e água), justificou o fenômeno dizendo que as moléculas teriam ficado mais agrupadas. Notou-se que, embora o aluno não fizesse uso das ideias sobre forças eletrostáticas em sua explicação, o mesmo pareceu ter noção de que existem forças de atração entre as partículas.

No entanto, ainda nesse 3º período, explicou a maior volatilidade do álcool em relação a da água atribuindo a causa à composição do álcool. O aluno não acionou ideias sobre interações entre as partículas. Dessa forma, percebe-se que o aluno transita entre a utilização de concepções em nível macroscópico e em nível submicroscópico.

Ao explicar a dissolução de um sólido como o nitrato de chumbo em água, argumentou que o sal havia "sumido". No entanto, ao ser questionado sobre essas ideias disse que sumir não significava que o sal não estivesse mais lá, mas que ficou solúvel na água. Nota-se que o aluno tem uma influência marcante dos dados perceptíveis. No 4º período a ideia de interação entre as partículas surgiu para explicar a solubilidade do sal (cloreto de sódio) em água e o aluno explicou que o sal ficou como que "armazenado" entre as moléculas de água. Representou a interação conforme se mostra na Figura 47.

Figura 47 - Representação pictórica da solubilidade do cloreto de sódio em água - aluno "B"

Pelo desenho apresentado o aluno deixa claro que, na sua visão, existem concepções sobre interações entre as partículas dos compostos. No entanto, a ideia de que o sal (NaCl) teria "sumido" no processo de dissolução deixou de ser considerada pelo aluno. *"Não. Eu não creio que ele suma"*.

Também, argumentou que essa interação não se trata de uma reação química, pois comentou: *"Não acredito que tenha ocorrido algo químico, porque o sal e a água eles continuam lá. Eles podem estar juntos, mas eles não viraram algo diferente. Não teve uma reação química nisso. Eles estão juntos, mas se você tiver dessalinização, o sal, ele vai voltar pro sal e a água vai se separar dele"*.

A solubilidade de sais minerais na água potável foi explicada pelo aluno usando ideias de interações, no entanto, ele não consegue explicar o fenômeno em nível submicroscópico com a utilização de forças inter partículas.

Mas esse fato pode ser justificado, pois o ensino da professora não promoveu maiores discussões sobre essas ideias e esse conceito foi tratado de forma superficial e com a exigência de um trabalho de pesquisa. Como um conceito que exige tão elevado grau de abstração pode ser significativo para um aluno que nem se quer tem um modelo de átomo previamente estruturado?

No último período a volatilidade do álcool voltou a ser explicada pelo aluno considerando a composição das substâncias. Isto leva a inferir que as ideias sobre forças inter e intra partículas não estão estruturadas na mente do aluno.

A seguir apresenta-se a classificação dos modelos explicativos do aluno "B" em cada fase da coleta de dados, Tabela 6 e na sequência mostra-se a visão panorâmica do nível de compreensão do aluno "B", Quadro 44.

Tabela 6 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “B” - 3ª Dimensão de Análise

1ª Dimensão Natureza da Matéria			1º Período	2º Período	Fases da Coleta de Dados			4º Período	5º Período
					3º Período				
Conceitos Explorado			Pré-teste	1ª	ENTREVISTAS			5ª	Pós-teste
					2ª	3ª	4ª		
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Transformação química considerando as interações intra partículas (rearranjo entre as partículas).		4,0	3,5	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0
	Interações Intra partículas considerando: a mudança de estado físico.	2,0	3,0	2,0	2,5	3,0	3,0	2,0	
	Interações Intra partículas considerando: a volatilidade, solubilidade e outras propriedades.	2,0	3,0	3,0	3,5	3,0	3,5	2,5	
	Nível de compreensão na dimensão por período		2,0	3,0	2,0	3,5	3,0	3,0	2,0

Legenda: NE = conceito não explorado nas entrevistas.

Quadro 44 - Níveis de compreensão do Aluno “B”, por períodos- 3ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012	2013	2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS				Pós-teste
			1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado						
4,0								
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado			●			
3,0				●		●	●	
2,5	Vaga	Inadequado						
2,0			●		●			●
1,0	Insuficiente							
1,5								

Legenda: (●) 3ª dimensão de análise.

Considerando as três dimensões de análise e os níveis de compreensão dos modelos explicativos do aluno ao longo do estudo longitudinal, no Quadro 45 é ilustrado o desenvolvimento conceitual do aluno “B” atingido neste estudo.

Quadro 45 - Desenvolvimento conceitual do aluno “B”

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós - Teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0						★	★ ▲	★		
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado				●				
3,0				●		★ ▲	▲ ●	●	▲	
2,5	Vaga	Inadequado								
2,0			★ ▲ ●	★	▲ ★				●	
1,0	Insuficiente									
1,5										

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise, (▲) 2ª dimensão de análise, (●) 3ª dimensão de análise.

Considerando as três dimensões de análise o aluno “B” apresentou a ideia de que a matéria é constituída por átomos. Apresentou uma visão descontínua da matéria e evoluiu ao apresentar um modelo para o átomo partindo da ideia de

simples "bolinhas" para um modelo que considerou a existência de partículas subatômicas. No entanto, apresentou muita dificuldade em diferenciar entre as partículas constituintes do átomo, principalmente quanto a sua natureza elétrica. Essa dificuldade o acompanhou do início ao final do Ensino Médio, e pode ter representado uma barreira. Ao tentar usar as ideias sobre interações intra e inter partículas o aluno se mostrou confuso. Ao final do Ensino Médio, apresentou um modelo mais elaborado para o átomo apontando corretamente as partículas, mas isso não implicou que ele tenha organizado suas concepções, pois em várias situações ele ficava confuso no emprego das partículas para explicar fenômenos como a condutibilidade elétrica e a dissolução de sal (NaCl) em água.

Articulou com ideias sobre forças eletrostáticas considerando que as partículas podem interagir entre si. A ideia da existência de espaços vazios entre as partículas não foi inicialmente considerada pelo aluno que relacionou o movimento das mesmas à ação de fatores externos (temperatura, agitação, bolhas de ar). No entanto, no decorrer do ensino evoluiu quando considerou que as partículas se movimentavam e que entre elas existia o vácuo. Para explicar a perda de elétrons por um átomo e a condutibilidade elétrica fez referência às partículas subatômicas, mas teve dificuldade em estabelecer relações entre elas na explicação dos fenômenos. Parece que a ideia da existência de cargas elétricas na condução da corrente elétrica em solução aquosa foi elaborada pelo aluno, mas ele não conseguiu construir a ideia da formação de íon.

Para manifestar ideias sobre as transformações químicas, o aluno reconheceu que se formam novas substâncias, mas coexistiram concepções alternativas e concepções que envolviam ideias sobre a quebra e formação de novas ligações entre os átomos. O aluno apresentou dificuldade no emprego da linguagem da química para expressar suas concepções e, por muitas vezes, notou-se que ele apresentava o conceito, mas não conseguia explicar por falta da utilização correta dos termos. Por exemplo, rearranjo de átomos foi utilizado por ele como "junção de átomos". Ideias sobre forças eletrostática, para explicar fenômenos como mudanças de estado físico, solubilidade, volatilidade, foram utilizadas pelo aluno, ainda que não se apresentassem com termos cientificamente corretos. No geral, o aluno evoluiu em suas concepções considerando os conceitos da 1ª e 2ª dimensões. Na 3ª dimensão, suas concepções oscilaram entre concepções em nível macroscópico e

submicroscópico. A principal barreira que o aluno se deparou para que seus conhecimentos fossem mais elaborados foi a dificuldade na diferenciação das cargas elétricas do átomo e o emprego dos termos próprios da linguagem da química.

✓ **Análise do desenvolvimento conceitual do aluno “C”**

O aluno iniciou pensando que a matéria era constituída por átomos quando foi questionado sobre este fato. Segundo ele, a matéria precisava ser formada por "algo". Utilizou o termo elemento, para se referir aos materiais, tais como, mármore, tijolos, concreto etc. Não manifestou ideias espontâneas sobre matéria ser constituída por átomos. Isso nos levou a inferir que sua visão é de matéria contínua, ideia que foi reforçada quando apresentou o desenho que elaborou sobre a mistura de água e sal, como indicado na figura 48 - 1ª entrevista, no qual indicou "bolinhas" para representar o sal, o que não significou que eram, para ele, partículas submicroscópicas. Pela sua explicação se entende que seriam pequenos grãos da matéria, *"seria o sal junto com a água. Misturados"*.

No 2º período passou a considerar a matéria como sendo formada por átomos e no final dos períodos (4º e 5º período) essa ideia se estabeleceu, pois o aluno argumentou: *"Ah! Eu penso que sim. Se não tivéssemos os átomos em toda a matéria nós nem estaríamos. É a nossa vida o átomo. Além disso os professores mostram pra nós que realmente a composição de cada material tem os átomos"*.

No início, escolheu o modelo de Rutherford como representativo do átomo, no entanto, não soube identificar a eletrosfera, mas indicou que os elétrons estavam nessa região. Talvez, na época, ele não se recordasse do nome desta região do átomo. O núcleo foi indicado pelo aluno corretamente, mas associou ao mesmo a existência de prótons, nêutrons e elétrons, comentando.

Figura 48 – Primeiro Mapa Cognitivo do Aluno "C" - Natureza da Matéria: Crenças da constituição da matéria e estrutura do átomo

Confusões ao falar das partes e partículas do átomo. Esse assunto não estava sendo discutido no ensino, o que pode justificar a dificuldade do aluno em apresentar um modelo para falar sobre tais partículas. Entre o 2º período e início do 3º período, apresentou um modelo para o átomo semelhante ao modelo de Dalton, no qual, o átomo seria uma "bolinha" maciça e indestrutível. Estava usando ideias compatíveis com as que a professora estava falando em sala de aula. No final deste período, seu modelo de átomo se reestruturou, como visto na figura 48 - 3ª entrevista. Reconheceu o núcleo e indicou os elétrons a sua volta, além de considerar os elétrons como partículas de carga negativa e a presença de nêutrons no núcleo atômico.

No entanto, confundiu a eletrosfera com a célula de organismos vivos, pois usou a palavra célula ao se referir a eletrosfera. Pode ser que ele tenha feito uma analogia entre a membrana celular, que envolve a célula com a eletrosfera. Seguiu, no entanto, reconhecendo de forma correta as cargas das partículas do átomo. Nos últimos períodos o aluno, superou as concepções sobre a ideia de célula, conforme comentou: *"Todo átomo tem a sua camada eletrosférica e nessas camadas eletrosféricas tem os elétrons. Dentro desse átomo tem um núcleo com prótons e nêutrons"*. O aluno, ao final do Ensino Médio, apresentou um modelo de átomo elaborado, evoluindo em suas concepções sobre a estrutura atômica, apresentando um bom nível de compreensão.

Não surgiram inicialmente, entre as ideias do aluno, considerações sobre a existência de espaços vazios e movimento intra e interpartículas, como apresentado na figura 49. No entanto, ele fez algumas considerações ao pensar, sobre o que exista entre as partículas de algumas substâncias e comentou que nos líquidos não existiam espaços vazios e que não havia nada entre as partículas, elas só se movimentavam sob agitação do material. No caso dos gases, pensou na existência de ar entre as partículas e com movimento constante, para os sólidos julgou que não havia espaços livres pois as partículas encontram-se, umas juntas das outras, imóveis e paradas.

No ensino, a ideia de movimento e espaços vazios não foram discutidas pela professora a ponto de os alunos refletirem sobre as mesmas. Apenas na 1ª série, para se explicar os estados físicos da matéria, a professora apresentou um modelo didático, considerando o distanciamento das partículas, mas não discutiu esse modelo de forma a auxiliar o aluno na abstração da ideia de

movimento e existência de espaços vazios. Poucos exemplos, são apresentados aos alunos pela professora, para que os alunos possam pensar neste modelo com tal nível de abstração.

No entanto, noções de espaços vazios e movimento são importantes, pois possibilitam aos alunos superarem a visão da aparência macroscópica da matéria para uma diferenciação em termos de partículas subatômicas, as quais poderiam ajudá-los a interpretar as propriedades e o comportamento da matéria. Sugere-se, portanto, que no ensino se ofereça oportunidades para que os alunos considerem esses aspectos, auxiliando-os a superar ideias de partículas como "pedaços" de matéria, de modo a construírem um modelo de maior poder explicativo.

No 3º período o aluno voltou a pensar na matéria com partículas que se movimentavam, apontando que entre elas existiam mais partículas do mesmo material e atrelou o movimento das partículas à maior ou menor temperatura do sistema. Ao se referir ao que existia entre as partes do átomo, o aluno manifestou que não havia nada, indicando que existia o vácuo. E entre um átomo e outro, considerou haver uma separação, como comentou: *"Ah! Eu não sei. Acho que em cada átomo tem certa separação um do outro. Sempre vai haver certa distância um do outro"*.

Parece que o aluno está tentando superar as suas ideias de continuidade e começando a considerar a matéria como descontínua, como se notou em sua fala: *"Na eletrosfera têm várias camadas de elétrons, e entre essas camadas eu acho que tem tipo um vácuo e entre os átomos imagino que são sempre uns grudados aos outros, mas pode ser que haja um espaço entre eles no qual não exista nada"*.

No entanto, ao pensar em substância, como a água e o gás carbônico, o aluno não abstraiu a ideia da existência de espaços vazios e comentou que entre as moléculas ocorrem mais moléculas da própria substância. Ele pareceu transitar entre as ideias de continuidade e descontinuidade da matéria. Parece ter dificuldades em diferenciar entre a ideia da existência de vazio quando pensa no material do qual a substância faz parte (nível macroscópico).

No final do período, o aluno, praticamente apresentou as mesmas ideias.

Figura 49 – Segundo Mapa Cognitivo do aluno “C” - Natureza da Matéria: Concepções sobre a existência de movimento e espaços vazios

Considera-se que em um gás exista ar entre as partículas e que no sólido, as mesmas estão muito juntas, umas das outras, e não havia espaços vazios. Parte dessas concepções podem ser decorrentes do ensino escolar, pois é comum na caracterização dos estados físicos da matéria a questão de maior ou menores espaços entre as partículas.

No entanto, quando se reportou ao átomo, a concepção de descontinuidade pareceu estabelecida: *"Então no caso o átomo contém uma eletrosfera na qual tem os elétrons que são as cargas negativas e no qual esses elétrons fazem um movimento em volta do núcleo. Nesse núcleo contém prótons e nêutrons, sendo que esses prótons têm cargas positivas e há um espaço vazio entre eles"*.

Outras situações foram apresentadas aos alunos para avaliar a consistência de suas concepções, tais como, o odor desprendido no escape de gás do botijão e o odor da gasolina. O aluno comentou: *"No caso as moléculas do gás estão livres aí. Só que o cheiro que está naquelas moléculas faz com que a gente sinta. Que o gás se espalhou", "Na gasolina umas moléculas se juntaram com algumas do ar e foram levadas a certo espaço"*.

Durante o ensino, para explicar aos alunos sobre o odor das substâncias foram lhes apresentadas as relações entre a geometria das moléculas com receptores do olfato. Foi comentado pela professora que esses receptores levariam informações ao cérebro sobre diferentes odores. Em uma das falas, na sala de aula, a professora comentou: *"A molécula da substância entra aí nesses receptores e se encaixa e você consegue distinguir os odores"*. Tal fato pode ter gerado no aluno a concepção de que a molécula apresentava odor.

Pela fala do aluno, também se observou que ele utilizou ideias relacionadas ao movimento das partículas e ação de agentes externos para justificar o fenômeno, evidenciando o quanto foi difícil a ele, elaborar uma explicação com a utilização de ideias ao nível submicroscópico.

Na Tabela 7 apresenta-se a classificação dos níveis de compreensão do aluno em cada conceito na 2ª dimensão de análise e no Quadro 46 a visão panorâmica do nível de compreensão.

Tabela 7 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “C” - 1ª Dimensão de Análise

1ª Dimensão Natureza da Matéria		Fases da Coleta de Dados						
		1º	2º	3º			4º	5º
		Período	Período	Período			Período	Período
		Pré- teste		Entrevistas				Pós- teste
			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	<i>Crenças da natureza corpuscular da matéria.</i>	3,0	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	<i>Modelos representativos para o átomo.</i>	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0
	<i>Reconhecimento do núcleo do átomo.</i>	2,0	NE	NE	3,0	4,0	4,0	4,0
	<i>Reconhecimento da eletrosfera e do elétron.</i>	2,0	NE	2,0	3,0	4,0	4,0	4,0
	<i>Ideias da existência de espaços vazios entre as partículas.</i>	2,0	2,0	NE	2,0	3,0	3,0	2,0
	<i>Ideia da existência de movimento entre as partículas.</i>	2,0	NE	2,0	2,0	2,0	NE	2,0
	Nível de Compreensão na Dimensão por Período	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0

Legenda: NE = conceito não explorado nas entrevistas

Quadro 46 - Níveis de compreensão do aluno "C" por períodos - 1ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014
			Pré - Teste	ENTREVISTAS					Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período
4,0	Boa	Adequado					★	★	
3,0	Alguma	Parcialmente Adequado				★	★		
2,0	Vaga	Inadequado	★	★	★				
1,0	Insuficiente								

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise.

Na 2ª dimensão as ideias manifestadas pelo aluno sobre a natureza elétrica da matéria como a condutibilidade, movimentação de elétrons, perda de elétrons pelo átomo, formação de íons, são apresentadas a seguir.

Inicialmente, o aluno, ao comparar a condutibilidade elétrica em solução aquosa de cloreto de sódio com outra solução de glicose, apresentou uma explicação genérica, comentando que o sal não impede a corrente elétrica de passar mas o açúcar sim.

No 1º período, para explicar a perda de elétrons pelo átomo, o aluno deu exemplo da formação da ferrugem, manifestando uma concepção em nível macroscópico, pois sua explicação estava centrada nos aspectos perceptíveis da matéria, quando argumentou: *"Um portão de ferro enferruja e fica com buracos"*.

No final deste período, conseguiu diferenciar entre materiais condutores e não condutores de eletricidade, manifestando uma explicação, na qual, começou a cogitar a possibilidade de que existiam elétrons ao redor do átomo. Apesar de argumentar nessa fase do ensino que o átomo era uma "bolinha" maciça e indivisível, o aluno ao tentar explicar o fenômeno, pareceu modificar seu próprio modelo de átomo, considerando a existência de elétrons, como visto na figura 48 - 2ª entrevista. Segundo ele, os elétrons são responsáveis pela condução da corrente elétrica.

De acordo com Benarroch (2001) ao refletir sobre a perda de elétrons, o aluno, pode ter tentado estabelecer relações entre os conceitos que apresentava na sua estrutura cognitiva, como por exemplo, a ideia de elétrons,

Concepções e utilização de ideias submicroscópicas sobre a natureza elétrica da matéria: Aluno "C"

Figura 50 – Terceiro Mapa Cognitivo do Aluno "C" - Natureza Elétrica da Matéria

Assim, a medida que ele acionou estes esquemas explicativos, novas relações conceituais podem ter sido construídas, a ponto de o aluno, ter manifestado uma resposta mais elaborada para o fenômeno. Nesse período, se observou que o aluno reestruturou seu modelo inicial de átomo para pensar na condutibilidade elétrica, abstraindo a existência de elétrons e fornecendo uma explicação, que melhor o satisfazia.

Segundo Wheathley (1991) os alunos podem assumir conjecturas como verdades, exceto quando as mesmas são desafiadas por experiências, o que pode levá-los a reconsiderarem suas próprias ideias e decidirem em modificá-las ou não. Talvez isso tenha ocorrido com o aluno quando se utilizou de conceitos de elétrons, modificando seu modelo inicial de átomo e tentando explicar a condutibilidade elétrica com esse novo modo de pensar. Pelo modelo de átomo que apresentou no final deste período, como indicado na figura 48 - 3ª entrevista pode-se inferir que houve uma reestruturação em suas concepções.

Apesar de o aluno considerar a existência de elétrons no seu novo modelo de átomo e pensar que o átomo poderia perder elétrons, ele não reconheceu a diferença entre o átomo de sódio e o íon sódio. Também não era de se esperar que ele fizesse tal reconhecimento, uma vez que ainda não havia estudado sobre modelos atômicos mais avançados.

A medida que novos modelos atômicos foram apresentados, ele seguiu considerando que um átomo é neutro quando a quantidade de prótons é igual a quantidade de elétrons e que entre os átomos existiam atrações e comentou: *"Ah! Às vezes um átomo tem mais prótons que os outros e é por causa dessa diferença de prótons e elétrons, que eles acabam se atraindo pra se estabilizar"*.

O aluno começou a considerar a existência de interações eletrostáticas entre as partículas e diferenciar o átomo neutro do íon. Reorganizou suas ideias e começou a empregar seus conhecimentos na construção de explicações cada vez mais elaboradas. Segundo Benarroch e Marín (1998), o aluno parece que ampliou a extensão do domínio de seu conhecimento e estabeleceu relações conceituais que o levaram a uma abstração refletida que culminou em uma resposta mais elaborada.

Nos últimos períodos definiu corretamente um íon negativo, como o átomo que ganha elétrons e continuou a comentar sobre as atrações entre os átomos para estabelecer as ligações químicas. Apresentou uma boa compreensão sobre a ideia de o átomo perder elétrons, apresentando uma explicação, na qual se percebeu que ele articulou seus conhecimentos sobre a estrutura do átomo e considerou a existência de forças eletrostáticas entre as partículas, pois forneceu uma resposta elaborada e apresentou como exemplo desse fenômeno a formação da ferrugem. A seguir se apresenta o comentário de sua explicação: *"Para o átomo perder elétrons, vai depender de qual camada, de qual distância que o elétron está dos prótons, porque quanto mais distantes dos prótons estiverem, menos atração eles vão ter um pelo outro, sendo assim vai restar menos energia pra poder retirar aquele elétron daquele próton. Seria isso"*. Esta dedução foi obtida pelo aluno, mas não comentada no ensino da professora.

Ao utilizar essas ideias sobre as forças eletrostáticas das partículas, o aluno foi capaz de fornecer uma explicação sobre a condutibilidade elétrica da solução aquosa de cloreto de sódio, na qual, parece pensar sobre ocorrência da dissociação iônica do sal, e a formação de íons. Embora o aluno não tenha utilizado o termo, dissociação iônica, em seu modelo explicativo pode-se perceber que deixou explícita a ideia da existência de interações entre a água e o sal, principalmente quando apresentou a seguinte explicação: *"Hm! Espera. Hm! O sal não vai deixar de ser sal, ele só vai se juntar às partículas, às partículas de água. É. No caso as partículas do sal, elas teriam que se dissolverem, elas estavam aglomeradas e elas meio que se separaram. Ocorreu uma atração tão grande, por alguma outra partícula, no caso a água seria essa partícula que tem uma atração maior pelo sódio. No caso faz com que eles se separem ficando juntamente com a água. Assim, no sal sólido há uma pequena movimentação dos seus átomos, mas quando o sal é dissolvido na água há um espaço maior para que essa eletricidade passe"*.

Observou-se que o aluno avançou em considerar ideias sobre a natureza elétrica da matéria quando manifestou explicações sobre estes fenômenos. Na Tabela 8 se apresenta a classificação dos níveis de compreensão do aluno, na 2ª dimensão de análise e no Quadro 47 a visão panorâmica do nível de compreensão.

Tabela 8 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “C” - 2ª Dimensão de Análise

2ª Dimensão		Fases da Coleta de Dados						
Natureza Elétrica da Matéria	1º Período	2º Período	3º Período		4º Período	5º Período		
Conceitos Explorado	Pré-teste	Entrevistas				Pós-teste		
		1ª	2ª	3ª	4ª			
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação com manifestação de explicações)	2,0	1,0	2,0	3,0	3,0	4,0	3,0
	Condutibilidade elétrica considerando a formação de íons	1,5	NE	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0
	Condutibilidade elétrica considerando Movimentação dos elétrons	1,5	NE	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0
	Nível de Compreensão na Dimensão por Período	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista.

Quadro 47 - Níveis de compreensão do aluno "C", por períodos - 2ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós- teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0										
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado								
3,0						▲	▲			
2,5	Vaga	Inadequado								
2,0				▲	▲			▲		
1,5	Insuficiente		▲							
1,0				▲						

Legenda: (▲) 2ª dimensão de análise.

Na 3ª. dimensão o aumento no volume na mudança de estado físico da água líquida para a sólida foi justificado pelo aluno dado ao fato de que, "as partículas se juntavam aumentando o volume" do sistema e, a maior volatilidade do álcool em relação à da água se quer foi respondida por ele. Parece não ter esquemas que possam auxiliá-lo a fornecer uma explicação em nível submicroscópico.

Surgiram, no 1º período, as primeiras ideias sobre forças eletrostáticas quando o aluno tentou justificar a fusão da parafina, como indicado na figura 51. Considerou ideias de que as partículas dos materiais, estariam "mais ou menos grudadas", alegando a necessidade de diferentes quantidades de calor para se fundirem. Isso pode ser confirmado pela sua explicação: *"Porque os átomos, as moléculas, estão, no caso do ferro, eles são mais duros, estão mais agrupados então, precisaria muito mais calor pra poder soltar. Para fazer com que eles se soltem. A parafina não, ela é mais maleável"*.

Percebe-se que o aluno além de articular explicações sobre a mudança de estado relacionadas com a ideia de interações entre as partículas, também fez uso de ideias sobre a necessidade de energia para explicar a transformação. No ensino, a professora nesse momento, estava desenvolvendo conceitos sobre a quantidade de energia envolvida nas transformações e isto pode ter contribuído

para que nas explicações do aluno, aparecesse mais este componente: energia. Ao explicar a fusão mais rápida da parafina em relação a do cloreto de sódio sólido, o aluno continuou considerando a existência de forças de atração entre as partículas e comentou: *"No caso do cloro e sódio as moléculas estão bem atraídas umas às outras e no caso da naftalina não"*.

No 3º período, quando comparou as temperaturas de ebulição entre a acetona e o etanol, explicou que era preciso mais calor para o etanol entrar em ebulição devido a maior atração entre suas moléculas. No entanto, o aluno não utilizou-se de ideias sobre as ligações de hidrogênio. Conceitos sobre forças intermoleculares haviam sido discutidas de forma superficial durante o ensino de ligações químicas, e foi solicitado aos alunos um trabalho de pesquisa sobre o assunto.

Não foi dada ênfase ao ensino desses conceitos. Ideias relacionadas a polaridade das moléculas e os tipos de interações inter partículas foram apenas apresentadas pela professora como informações. Portanto, não era de se esperar que o aluno, pensasse nas interações inter partículas com explicações em nível submicroscópico.

Para explicar a solubilidade do cloreto de sódio em água, inicialmente o aluno atribuiu a causa à composição do material, e comentou que o sal dissolvia, pois apresentava "pedrinhas bem fininhas". O sal, segundo ele, se "dissolveria até quanto a água suportasse". O aluno parece perceber que existe um limite de solubilidade. Na sua ideia, a areia não é solúvel, uma vez que é composta por "pedrinhas maiores". Na figura 51, são apresentadas algumas manifestações de ideias pelo aluno quando tentou interpretar fenômenos de solubilidade e mudança de estado físico utilizando suas ideias de "atrações entre partículas". Durante o decorrer do ensino, outras situações foram apresentadas ao aluno para que ele pudesse propor respostas mais elaboradas, mas ele sempre fornecia uma explicação, que embora envolvesse a ideia de interações se notava que as mesmas não estavam estruturadas. A frase a seguir, sobre a dissolução do gás oxigênio em água, confirma essa análise: *"Não sei, muito bem. A partícula de água, é como se engolissem o oxigênio. Vão ficar pequenas partículas ali. Não podem ser soltas"*.

Figura 51 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções do aluno "C" para os conceitos de interações intra e inter partículas

Apresentou um modelo para a dissolução do cloreto de sódio em água, conforme mostra-se na Figura 52, no qual se notou que o aluno parece pensar que existam entre as partículas do cloreto de sódio e da água algum tipo de atração.

Figura 52 - Representação, pelo aluno "C", da dissolução do cloreto de sódio em água

O aluno explicou a dissolução do sal em água usando os argumentos: *"As moléculas dele só se separam. Ah! Eu acho que a água ela quebra as ligações que tem entre uma partícula de sal e, elas ficam junto da água só que sem se misturar com a água"*.

A professora explorou as forças intermoleculares por meio da solicitação de um trabalho de pesquisa, no qual, o aluno deveria pesquisar sobre a influência das forças intermoleculares na explicação do estado físico de algumas substâncias e na solubilidade. Apesar de o aluno, ter conhecido a existência deste conceito por meio de uma pesquisa, sem que tenha tido a oportunidade de discutir, manifestar suas concepções, pensar sobre elas, aplicá-las em contextos diferentes, ele manifestou uma boa compreensão sobre o processo de dissolução, apresentando uma explicação em nível submicroscópico, apesar de alguns erros conceituais, como se observou na sua explicação sobre seu desenho, como apresentado na figura 52.

Inicialmente ao manifestar ideias sobre as transformações químicas, não apresentou explicações em nível submicroscópico considerando a existência de forças eletrostáticas, parece confundir uma transformação química com a mudança de estado físico da matéria. No entanto, isso foi justificado, pois nessa fase inicial, o ensino sobre transformações químicas, tratava do reconhecimento das mesmas com base nos aspectos perceptíveis dos sistemas, considerando as evidências para o seu reconhecimento, como, mudança de cor, liberação de gás, formação de uma substância sólida.

O aluno comentou que na queima da gasolina ocorria a evaporação e argumentou: *"Ela continua sendo gasolina, mas você não consegue obter ela de*

novo". Essa fala do aluno levou a inferir que ele pode estar pensando na mudança de estado da matéria, e não na formação de novas substâncias.

O aluno comentou que para saber se uma transformação química ocorreu era preciso uma evidência: *"Mudar de cor, se passa para sólido"*. Pelo argumento apresentado pelo aluno, foi possível notar sua preocupação com o que se transformou, mas não com o que se conservou. Isso pode, segundo Pozo e Crespo (2009), dificultar a compreensão das diferentes mudanças que a matéria experimenta.

A dificuldade do aluno para diferenciar entre uma transformação química e a mudança de estado físico, foi uma surpresa, visto que a professora estava tratando no momento, sobre as evidências de transformações químicas. Isto implicou em pensar, que valorizou-se o treino em classificar os fenômenos como transformações químicas ou transformações físicas e não formar o conceito de transformação química.

No 2º período ideias sobre a conservação da matéria estavam sendo discutidas no ensino e o aluno passou a considerar que em uma transformação química, como na neutralização do ácido clorídrico com o hidróxido de sódio, ocorria a conservação da massa, e explicou: *"Porque, como a substância sempre é a mesma, sempre vai ter o mesmo peso, então não tem o porquê de mudar o peso dela. A substância vai mudar, mas o peso sempre vai continuar o mesmo, porque o peso e as substâncias vão se juntar um com o outro, no caso. Vão se juntar os átomos"*.

Foi possível verificar pelos seus argumentos, que ele passou a considerar a formação de novas substâncias em uma transformação química e a conservação de massa, pois parece pensar que os átomos das substâncias iniciais se "juntam", ou seja, subentende-se que ele esteja pensando que os átomos se rearranjaram. Isso foi muito importante, pois representou um salto em seus modelos explicativos, mostrando que ele evoluiu da aparente percepção da conservação da massa para a compreensão da conservação da massa, em termos da estrutura submicroscópica.

Também argumentou que o carbono e o oxigênio se atraíam como um "ímã" na formação do gás carbônico, devido a união entre átomos e elétrons. O aluno parece pensar em ligações químicas para justificar a formação do gás carbônico. O aluno estava estudando nessa fase do ensino (3º período), os

conceitos envolvendo as ligações entre os átomos, e isso pode ter contribuído para pensar na transformação química como o rearranjo de átomos. Tal fato, pode ser evidenciado pela sua fala, quando explicou a reação química: KI (aq) e $\text{Pb (NO}_3)_2 \text{ (aq)}$ da seguinte forma: *"Os átomos não mudaram eles só trocaram... Só se juntaram com outros elementos formando uma coisa diferente"*.

No final deste período o aluno passou a relacionar a transformação química, com ideias sobre a estrutura do átomo e conceitos de ligações químicas, manifestando a seguinte explicação: *"No caso da última camada onde ficam os elétrons vai... Uma das substâncias... Uma vai perder e vai ficar mais eletropositiva e a outra vai receber esses elétrons, esse átomo vai perder... Então eles se ligam um no outro para poderem formar outra substância"*.

Apesar de o aluno utilizar de conceitos sobre interações eletrostáticas, ainda permanecem erros conceituais. O ensino abordou os conceitos de ligações químicas por meio da "regra do octeto" com emprego passo a passo da regra, de forma mecânica, sem que se fossem valorizadas ideias de interações eletrostáticas intra e inter partículas da matéria, potencial de ionização e eletronegatividade, para o entendimento da ligação química.

A fala da professora ilustra essa afirmação: *"Todos os átomos querem ficar com oito elétrons na última camada, lembram? Com exceção do hélio que só tem dois elétrons. Os átomos vão fazer de tudo para alcançar esta estabilidade"*.

A professora não explorou as ligações químicas por meio de conceitos como a eletronegatividade e o potencial de ionização dos átomos. O aluno, aplicou o conceito de forma mecânica sem atribuir a ele significado.

No final do período o aluno considerou o rearranjo entre os átomos das substâncias na ocorrência de uma transformação química, diferenciou entre transformação química e mudança de estado físico, demonstrando boa compreensão.

Trechos de sua explicação explicitam esse fato: *"É, houve uma reação entre essas moléculas. Os elementos que formam os átomos delas se separariam e se juntariam com outros átomos diferentes e aí vão se formar substâncias diferentes. Na transformação, ela deixa de ser o elemento anterior e passa a ser outro, pra formar outra substância e na evaporação o elemento vai continuar sendo o mesmo, só que em estados diferentes"*. O aluno ao citar em

sua explicação a palavra elemento, parece pensar nos átomos que formam as moléculas das substâncias que reagem e em suas ligações, durante a transformação.

Como se notou, apesar de o aluno ter apresentado uma evolução em pensar na transformação química como a quebra e formação de ligações, considerando o rearranjo entre os átomos, não se pode confirmar que ele pense nessa interação com ideias sobre forças de atração que envolvem interações eletrostáticas.

Na Tabela 9 e no Quadro 48 apresentam-se os níveis de compreensão do aluno e a visão panorâmica do nível de compreensão por ele alcançado.

Tabela 9 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “C” - 3ª Dimensão de Análise

3ª Dimensão Interações Intra e Interpartículas Conceitos Explorados		1º Período	2º Período	Fases da Coleta de Dados			4º Período	5º Período	Nível de Compreensão por Conceito
				3º Período					
				ENTREVISTAS					
		Pré-teste	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	Pós-teste	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Transformação química considerando as interações intra partículas (rearranjo entre as partículas).	2,0	2,0	3,0	3,0	NE	4,0	4,0	
	Interações Intra partículas considerando: a mudança de estado físico.	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0	
	Interações Intra partículas considerando: a volatilidade, solubilidade e outras propriedades.	1,0	2,0	2,0	NE	3,0	NE	2,0	
	Nível de compreensão na dimensão por período	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0	

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista.

Quadro 48 - Níveis de compreensão do aluno “C”, por períodos- 3ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012		2012		2013		2014		2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS								Pós- teste
				1º Período	2º Período		3º Período		4º Período		5º Período	
4,5	Boa	Adequado										
4,0									●			
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado										
3,0					●	●	●			●		
2,5	Vaga	Inadequado										
2,0			●	●								
1,0	Insuficiente											
1,5												

Legenda: (●) 3ª dimensão de análise.

Considerando as três dimensões de análise e os níveis de compreensão dos modelos explicativos do aluno ao longo do estudo longitudinal, no Quadro 49 é ilustrado o desenvolvimento conceitual do aluno “C” atingido nesse estudo.

Quadro 49 - Quadro 49 - Desenvolvimento conceitual do aluno “C”

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012	2013	2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS				Pós - Teste
			1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado						
4,0							●★	★
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado						
3,0				●	●★	★●▲	▲	●
2,5	Vaga	Inadequado		▲	▲			
2,0			★●	★●	★			▲
1,0	Insuficiente			▲				
1,5			▲					

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise, (▲) 2ª dimensão de análise, (●) 3ª dimensão de análise.

O aluno "C" iniciou a aprendizagem com uma visão contínua da matéria mas ao final do Ensino Médio a presença da ideia de átomos como constituintes da matéria se estabeleceu. Seu modelo de átomo evolui do modelo de "bolinhas", como uma esfera maciça e indestrutível para um modelo semelhante ao de Rutherford.

Embora tenha inicialmente considerado a eletrosfera como a membrana celular e o núcleo como uma região, na qual encontravam-se prótons, nêutrons e elétrons, ele diferenciou desde o início as cargas elétricas destas partículas, e ao final do Ensino Médio superou a concepção alternativa, na qual, indicava a eletrosfera como célula. Elaborou um modelo de átomo coerente, diferenciando de maneira correta suas partes e partículas constituintes.

No início, a ideia do movimento intrínseco das partículas e da existência do vazio entre as mesmas, não faziam parte de suas concepções. O movimento das partículas foi atribuído a fatores, tais como, agitação e calor e o aluno considerou a presença de ar entre as partículas de um gás, e entre as de líquido e sólido, argumentou que não havia nada, apenas partículas do próprio material. Estas concepções se mantiveram firmes na estrutura cognitiva do aluno por um bom período do ensino, apenas evoluindo para ideias da existência de espaços vazios ao final da 3ª série. No entanto, nas manifestações de ideias apresentadas pelo aluno, percebeu-se que ainda coexistiam ideias alternativas sobre o movimento e vazio.

Ao explicar a condutibilidade elétrica e a perda de elétrons pelo átomo iniciou com explicações genéricas apresentando exemplos na tentativa de fornecer uma resposta, como, formação de ferrugem. Em seguida, começou articular com as ideias sobre a existência de elétrons envolvidos nos fenômenos. No entanto, teve dificuldade em elaborar a ideia de íon. Ao ser apresentado aos modelos de átomos, passou organizar suas concepções sobre as partículas elétricas da matéria, o que o levou a construir ideias sobre forças eletrostáticas e formação de íons.

Aplicou estas ideias para tentar explicar os fenômenos como, formação de ferrugem e a condutibilidade elétrica em solução aquosa de cloreto de sódio, apresentando boa compreensão sobre os fenômenos em nível submicroscópico. Ideias sobre forças de atração considerando forças eletrostáticas, se constituíram a maior barreira para o aluno. Ele avançou em considerar que na

mudança de estado físico, na volatilidade do álcool em relação à da água e nos processos de dissolução existiam forças de atração, que envolviam cargas elétricas, mas não elaborou um modelo explicativo coerente que sustentasse suas explicações. Na maioria de suas respostas surgiram considerações de que as partículas estariam mais ou menos próximas, se atraíam. Mas o aluno, não forneceu uma resposta mais elaborada. Parece que o trabalho da professora contribuiu para que tal dificuldade não fosse superada pelo aluno, pois não se discutiram ideias sobre forças intermoleculares que dessem ao aluno subsídios para construí-las.

A visão inicial do aluno sobre transformações químicas esteve apoiada nos aspectos perceptíveis do sistema e ele confundiu transformação química com mudança de estado físico. Quando aprendeu sobre a conservação da massa nas transformações químicas passou a considerar o fenômeno, com ideias sobre a "junção" de átomos que depois veio a evoluir para o rearranjo de partículas. Embora considerando o rearranjo de partículas ao explicar uma transformação química, não utilizou conhecimentos em nível submicroscópico considerando as ligações químicas. No geral o aluno, apresentou evolução nos conceitos nas três dimensões de análise, com alguns momentos de estabilidade, ficando suas concepções na maioria das vezes ao nível de alguma compreensão.

✓ **Análise do desenvolvimento conceitual do aluno "D"**

O aluno "D" inicialmente ficou em dúvida sobre a matéria ser ou não constituída por átomos, chegou a comentar que ela era constituída por ar, água e células. Parece que o aluno pensou na matéria como sendo contínua. Segundo Mortimer (2000), o aluno pode se encontrar em uma zona de perfil conceitual, que o autor denominou de *sensorialista*, ou seja, associou à percepção sensorial direta da matéria como algo contínuo.

O aluno recordou ter estudado sobre a matéria e seus estados físicos. Comentou, inclusive, que se recordava de a professora ter representado os estados físicos por meio de "bolinhas" mais ou menos afastadas.

Indicou que a matéria era "tudo que ocupa espaço" e citou como exemplo de matéria, a mistura de água e sal. Continuou pensando na matéria como sendo

formada de ar, água e células, como explicitou em sua fala: *"Que apareciam poucas bolinhas. Até o gasoso que é com poucas bolinhas. Hm! Agora não me lembro bem, mas era como se fossem células na água mesmo. Células. Que quanto mais células mais eram densas o negócio e mais espaço ocupava. E aí quanto menos células tinha era diferente o desenho né? Já eram poucas bolinhas"*.

O aluno não parece pensar na matéria com ideias de átomos, mas como células, ideia alternativa que dificultou ao aluno superar a visão contínua da matéria. Ele ativou com muita facilidade este tipo de concepção. Este fator pode ser uma barreira para que o aluno supere a visão de continuidade da matéria para uma visão em termos de átomos e moléculas (POZO et al., 1991). Depois de ter sido questionado se ele reconhecia que a matéria poderia ser constituída de átomos, o aluno passou a considerar a possibilidade, no entanto, ficou evidente que essa concepção não fazia, realmente, parte de suas ideias.

Ao desenhar como imaginava a mistura de água e sal, ele representou seu desenho com alguns pontinhos, como indicado na Figura 53.

Figura 53 - Dissolução do sal em água. Elaborado pelo aluno "D"

Esta figura foi elaborada pelo aluno, após ser instruído a supor que estaria observando duas misturas de água com sal, uma contendo pouco sal e outro muito sal, usando uma "lente potente". Analisando o desenho que ele apresentou, embora apareçam os pontinhos, indicativos de elementos submicroscópicos, ele argumentou que seriam "pedacinhos do sal", apresentando dessa forma uma visão contínua sobre a constituição da matéria como "pequenos pedaços visíveis da mesma".

No final do 2º período, o aluno ampliou a ideia de que a matéria é constituída por átomos, comentando que as células, das quais ele havia falado,

também eram formadas de átomos. Parece que na estrutura cognitiva do aluno, os conceitos começaram a se relacionar e o aluno começou a dar sentido quando manifestou sua ideia sobre a constituição da matéria. Talvez, estivesse incorporando novas informações às suas estruturas mentais, mas ainda não foi possível verificar se sua concepção de a matéria ser formada por células, tinha se reestruturado.

Em seguida, passou a falar da matéria como constituída por partículas, as quais ele chamou de átomos, e, inclusive, citou que em escala de tamanho, seriam menores do que as moléculas. Neste caso pode-se pensar que houve uma reestruturação de suas concepções. Além disso, nessa fase do ensino, já haviam sido introduzidos os modelos atômicos, e isso pode ter contribuído para que ele tenha avançado em pensar em átomos.

Escolheu o modelo de Rutherford como representativo de átomo, indicando o núcleo mas o definiu de forma incorreta, como sendo um agrupamento de prótons e elétrons. A eletrosfera foi denominada de corrente e, o aluno não reconheceu que o elétron estava na eletrosfera, pois indicou que na mesma poderia existir, próton, elétron e nêutron. Não reconheceu corretamente as partes e partículas do átomo. No entanto, isso se justificou, pois a professora não havia discutido ainda sobre essas ideias.

Em outro momento, ao ser solicitado a desenhar como imaginava o átomo, ele o representou com vários anéis, conforme indicado na figura 54 - 1ª entrevista, comentando que o modelo é "algo" parecido com o que ele já havia visto antes. Nos anéis, indicou os elétrons, que para ele seriam cargas positivas e estariam em volta do átomo, bem como prótons (cargas negativas) e os nêutrons.

O aluno fez confusão ao diferenciar entre as cargas elétricas de prótons e elétrons. O núcleo para ele, seria o centro do átomo e comentou que dentro do átomo existiriam mais átomos. Pode estar pensando nas partículas subatômicas, mas usando a palavra átomo para indicá-las. Ele não conseguiu organizar um modelo de átomo considerando todos os seus componentes, prótons, elétrons, nêutrons etc. Cometeu muitas confusões ao empregar estes termos. No segundo período, continuou apresentando o átomo, formado pelos anéis e com o núcleo no centro (figura 54 - 2ª entrevista). Indicou que nos anéis existiam cargas e no núcleo ficariam os prótons. Comentou que os nêutrons estariam próximos do

núcleo e os elétrons mais externamente, nos anéis. O seu modelo sofreu reestruturações. No 3º período, incorporou mais um componente ao seu modelo, ou seja, um círculo em volta dos anéis (figura 54 - 3ª entrevista). Parece que o aluno, está de certa forma, combinando seu modelo de anéis com a imagem de modelos que lhe foi apresentada no ensino (círculos), para representar a eletrosfera do átomo.

O fato de o aluno incorporar mais um componente em seu modelo, levou a inferir que ele está tentando reformular suas concepções. Segundo Benarroch e Marín (1998), pode ser que ao fazer suas abstrações empíricas, associadas às ideias decorrentes do ensino, o aluno talvez esteja tentando estabelecer ligações interfactuais entre seus novos esquemas específicos e outros já existentes. No entanto, não conseguiu ampliar a extensão do domínio do conhecimento, pois essas abstrações não foram suficientes para que ele, considerasse no seu modelo de anéis, que estes seriam similares às do círculo, e ambos representariam a eletrosfera.

O que se infere é que esses esquemas permaneceram isolados em sua mente, pois ele passou a apresentar um modelo de átomo, incluindo os anéis e o novo componente, ou seja, os círculos. Esse modelo continuou a ser apresentado pelo aluno até o 4º período, entretanto ele posicionou os nêutrons entre os anéis e a eletrosfera, figura 54 - 4ª entrevista. O aluno, não conseguiu organizar em sua mente, os esquemas que ele tinha sobre o átomo, e portanto não apresentou, até essa fase do ensino um modelo estruturado.

Importante salientar que, no ensino dos modelos atômicos, muitas ideias foram apresentadas aos alunos ao mesmo tempo. Não foi feita uma diferenciação, entre os modelos atômicos de maneira que os alunos pudessem refletir sobre o significado de cada modelo, comparando-os e pensando sobre sua constituição e as modificações que ocorreram ao longo do tempo.

Os alunos leram textos, mas as ideias que eles construíram não foram desafiadas para que se percebesse o quanto realmente haviam entendido.

É preciso que no ensino os professores deem importância a esse aspecto, pois apresentar tantas ideias aos alunos, em um período curto de tempo e não retomá-las com frequência, pode resultar em uma aprendizagem com lacunas e falhas.

No 5º período, ou seja, somente na 3ª série, foi que o aluno veio a reestruturar seu modelo, mas ainda em desacordo com os modelos da ciência (figura 54 - 5ª entrevista). O aluno comparou o núcleo do átomo ao de uma célula, a qual, traz todo código genético e, assim, no núcleo atômico também, é onde existem todas as informações do átomo.

Talvez, o aluno tenha pensado que os prótons são as partículas responsáveis pela identificação do átomo. Segundo o aluno o núcleo é neutro e mantém o átomo "no lugar". O aluno deu a entender que a estabilidade do átomo se deva ao núcleo atômico, como pôde-se verificar através da sua fala: *"O núcleo, ele evita que as duas outras cargas elétrons e prótons escapem do átomo"*.

Também, argumentou que o próton para ele era a carga negativa, e o elétron a carga positiva. Os prótons ficavam "girando" aleatoriamente em várias direções, mas que os prótons e elétrons não se "atraiam" devido a presença do núcleo que as impediam de se encontrarem. O aluno confundiu os termos e não reconheceu adequadamente as partículas subatômicas. Isto está provavelmente dificultando a sua elaboração de um modelo coerente de átomo.

Ao serem apresentados ao aluno vários termos relacionados à estrutura do átomo (questão 2 - 4º período – APÊNDICE F) foi solicitado que ele os relacionasse e escrevesse sobre eles. O aluno escreveu: *"A eletrosfera é onde se situam os elétrons e prótons que estão sempre em movimento. E entre a eletrosfera e o núcleo, existem espaços vazios"*.

Ao final dos períodos, quando foram apresentados novamente modelos atômicos ao aluno, ele escolheu como modelo representativo para o átomo o modelo de Bohr. Na eletrosfera, ele considerou que existiam os elétrons e citou que ela seria um campo com carga. Talvez estas ideias tenham surgido, pois nessa fase o ensino de física estava discutindo ideias sobre campo elétrico.

Em relação às ideias de espaços vazios e movimento intra e inter partículas, as seguintes concepções foram apresentadas pelo aluno. Inicialmente ele considerou que entre as partículas de um líquido e de um sólido, não havia espaços vazios e elas estariam muito juntas umas das outras que não poderia existir nada. Para um gás considerou a existência de mais partículas do mesmo material. As partículas num líquido estão, para ele, imóveis, as do gás sempre em movimento e as do sólido só se movimentam se o material for agitado (figura 55). Embora tenha indicado anteriormente, que entre a eletrosfera e o núcleo existiam espaços vazios, esta ideia, não foi reconhecida por ele para justificar o que existia entre as partículas de sólidos, líquidos e gases.

Questionado sobre o que existia entre os átomos, ele seguiu comentando que devia existir ar, como se observou na sua fala: *"Se cristais de sal, são pressionados, com uma lente se consegue ver os cristais. Imagine, que diminuindo a espessura deles, se diminui os espaços entre eles, mas conforme a espessura aumenta, os espaços são cheios de ar"*.

Essa ideia continuou presente mesmo em outras situações, por exemplo, ao explicar como as partículas se encontravam antes e após abrir a válvula de um "botijão de gás", o aluno comentou que antes as partículas se encontravam "juntas" e depois de a válvula aberta, elas se "expandiram", se separaram devido ao ar que as empurrava.

Para analisar o granito, matéria constituída por átomos, argumentou que os átomos estariam separados e que entre eles existiria o calor dos próprios átomos, proveniente da "junção" dos mesmos, dado o movimento das cargas elétricas nos anéis desses átomos. Apesar da presença de ideias alternativas, o aluno superou a visão aparente do material para elaborar uma explicação em nível submicroscópico. Esta concepção, ocorreu no 2º período, momento em se estava discutindo ideias sobre modelos atômicos, e isso pode ter contribuído.

Figura 55 – Segundo Mapa Cognitivo do Aluno “D” - Concepções do aluno sobre movimento e vazio entre as partículas da matéria.

Para que o aluno manifestasse outras concepções, o que implicou em um sistema cognitivo em transformação (BENARROCH, 2001).

No entanto, não se pode afirmar que as concepções do aluno sobre a existência do vazio, foram elaboradas, pois ao mesmo tempo em que ele fala de partículas, ele também concebe que entre elas exista calor. Na literatura, não é comum, estudos apresentarem a ocorrência deste tipo de concepção.

O odor que se sente ao abrir um frasco de álcool, segundo o aluno, é decorrente do aquecimento, agitação e das cargas dos átomos. Parece que ele está tentando relacionar o comportamento macroscópico da matéria com explicações em nível submicroscópico.

No 3º período, ideias sobre movimento das partículas surgiram e o aluno considerou que as mesmas se movimentam em todas as direções, ligou este fato ao maior ou menor aquecimento. Também argumentou que entre as partículas dos materiais existem "pontes que ligam essas partículas". Explicou que essas pontes dependiam de o material ser ou não mais denso. Comentou: *"Às vezes o material é tão denso, tão firme e tão resistente que não pode existir espaços vazios entre os átomos, por exemplo, o chumbo"*.

Parece que o aluno não está pensando no movimento intrínseco das partículas e condicionou a existência de espaços vazios ao aspecto físico do material. No entanto, começaram a surgir concepções de que existe algum tipo de força entre as partículas que as mantenham próximas ou não. Ele parece pensar em forças de interações, mas não de forma esclarecida.

No 4º período, começou a reconhecer que existe movimento intra-atômico, pois comentou que as cargas positivas e negativas do átomo, *"girando aleatoriamente nos anéis gera a energia que fica entre os átomos"*. Nesta fase, o aluno não utilizou de concepção em nível macroscópico, tentou formular uma resposta em nível submicroscópico, ainda que desestruturada. Mas não avançou em seus modelos de movimento e ideia de vazio.

Na Tabela 10 apresenta-se a classificação dos níveis de compreensão do aluno para cada conceito da 1ª dimensão de análise, e no Quadro 50 a visão panorâmica do nível de compreensão do aluno.

Tabela 10 - Nível de Compreensão do Aluno “D” - 1ª Dimensão de Análise

1ª Dimensão Natureza da Matéria Conceitos Explorados -		Fases da Coleta de Dados					
		1º Período	2º Período	3º Período		4º Período	5º Período
		Pré- teste	1ª	Entrevistas		5ª	Pós- teste
				2ª	3ª	4ª	
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Crenças da natureza corpuscular da matéria.	1,5	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0
	Modelos representativos para o átomo.	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Reconhecimento do núcleo do átomo.	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0
	Reconhecimento da eletrosfera e do elétron.	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0
	Ideias da existência de espaços vazios entre as partículas.	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0
	Ideia da existência de movimento entre as partículas.	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0
Nível de Compreensão na Dimensão por Período		2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista

Quadro 50 - Visão panorâmica do nível de compreensão do aluno "D"

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,0	Boa	Adequado								
3,0	Alguma	Parcialmente Adequado				★	★	★	★	
2,0	Vaga	Inadequado	★	★	★					
1,0	Insuficiente									

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise.

Na 2ª dimensão para explicar a formação da ferrugem aluno atribuiu a causa à ação do tempo. E o escurecimento de um objeto de prata, foi explicado pelo aluno considerando que: *"A tinta da correntinha de prata, na presença da umidade, ao secar perdia seu brilho"*.

O aluno não foi capaz de ligar as propriedades macroscópicas com explicações em nível submicroscópicos. Mas, não se poderia esperar muito do aluno, uma vez que a professora estava iniciando discussões sobre os aspectos macroscópicos dos fenômenos.

A condutibilidade elétrica em uma solução aquosa de cloreto e sódio foi explicada inicialmente pelo aluno considerando a existência de cargas positivas e negativas. No 1º período, atribuiu a condução de corrente elétrica, ao movimento de prótons, nêutrons e elétrons dos átomos pelo fio do sistema. Ficou evidente que o aluno considerou o movimento de partículas subatômicas, no entanto, ele inclui todas elas como responsáveis pela condução de energia elétrica. O fato de o aluno, não ter um modelo de átomo estruturado, dificultou a elaboração de explicações mais coerentes para explicar a condutibilidade elétrica.

O aluno, exemplificou materiais condutores, tais como: ferro, zinco, alumínio e aço. Justificou, que eram condutores, pois seus átomos, apresentando cargas elétricas, que ficavam "girando em torno dos anéis do átomo", eram as responsáveis pela condução de energia. O aluno, mesmo que

de forma incoerente, está usando seu modelo de átomo para propor uma explicação. Também deu exemplos de materiais não condutores, tais como: madeira, azulejo, borracha, comentando que usa a borracha para evitar choques elétricos. Explicou que a borracha, embora tenha átomos, os elétrons dos anéis (do seu modelo) não são capazes de se separarem, então ela não conduz a corrente elétrica. O aluno apresentou um argumento satisfatório, pois está tentando utilizar seu modelo submicroscópico de átomo para explicar um fenômeno que observa macroscopicamente.

No 3º período ao ser indagado sobre o que pensa sobre um íon, o aluno considerou que ele se forma devido à perda de elétrons pelo átomo de sódio e faz as respectivas representações para diferenciar o átomo de sódio de seu íon (Figura 56). Comentou que os elétrons se movimentavam por todos os lados do átomo e, às vezes, na troca de cargas entre os átomos, esses elétrons podiam ser retirados. Argumentou, ainda, que o átomo de sódio apresentava cargas positivas, negativas e neutras e o íon é negativo pelo fato de trocar cargas com outro átomo.

Figura 56 - Formação do íon sódio. Desenhado pelo aluno "D"

O aluno, apesar de explicar a variação de elétrons na formação de íons, o representou de forma incorreta com carga negativa. Considerando que, para o aluno o elétron tenha carga positiva, como explícito em seu modelo de átomo, a representação pareceu lógica, pois ele pode estar pensando que os prótons predominam (com a retirada dos elétrons), que para ele são partículas de carga negativa.

Do ponto de vista científico, apesar de o aluno ter cometido muitas confusões e não ter apresentado um modelo de átomo estruturado, do ponto de vista de seu próprio modelo, ele apresentou coerência em suas explicações. Destacou-se, ainda, uma fala do aluno, para justificar sua forma de pensar em íons: *"Com a junção das moléculas de água e do sal, no caso os átomos de uma e os átomos da outra, ocorre uma agitação que produz energia. Então essa energia, no caso da experiência fez a luz acender"*.

Figura 57 – Terceiro Mapa Cognitivo do Aluno "D" - Natureza Elétrica da Matéria

A Figura 58 representa o modelo que o aluno desenhou para explicar a interação entre o sal e a água. Nesse modelo o aluno comentou que a própria agitação das partículas produz energia para mantê-las unidas. Para ele, o sal sozinho não é um bom condutor, mas na água a "junção" dos dois produz a energia.

Figura 58 - Desenho representativo da dissolução do cloreto de sódio em água - aluno "D"

No 5º período o aluno associou a perda de elétrons a uma transformação química, explicando que existem átomos que se reagrupam para formar novas substâncias. E comentou que quando isso ocorre, é possível a retirada de elétron do átomo. Também comentou que o átomo pode compartilhar seus elétrons com outro átomo.

O aluno avançou em considerar a provável formação de ligações químicas entre os átomos. Mas ainda mantém muitas concepções alternativas, conforme mostrou sua fala: *"Através de um processo que eu, infelizmente não lembro o nome, tem como você tirar o elétron do átomo, ou ele compartilha elétrons, ou ele ganha ou perde elétrons dependendo de um outro átomo"*.

O aluno tentou relacionar suas ideias de íons e as de ligações químicas, como se apresenta na sua fala: *"Que eu me lembre, através dessas ligações entre os elétrons, o íon ele é uma carga negativa. Ela seria uma carga, eu não lembro se é uma carga de transporte ou se ela é uma carga que é transportada. Que ela é uma carga que pode ser transportada pro outro elétron através de uma ponte, de uma ligação iônica"*.

Apesar de o aluno continuar apresentando concepções alternativas, foi significativa a sua evolução ao considerar a natureza elétrica da matéria, mesmo que considerada de nível de insuficiente compreensão.

No entanto, esse aluno manifestou explicações que passaram de um nível de descrição para um nível explicativo mais elaborado, sem que as suas concepções se desligassem das percepções (BENARROCH, 2001).

Ao representar a dissolução do cloreto de sódio, o aluno considerou a existência de interações entre as partículas como se apresenta em seu desenho (Figura 59).

Figura 59 - Formação de cloreto de sódio (2). Desenhada pelo aluno "D"

A condutibilidade elétrica de metais foi explicada pelo aluno, considerando-se o envolvimento de energia, mas logo em seguida, ele reformulou sua explicação e passou a considerar o envolvimento de cargas que cada um dos átomos poderia ter. Mais uma vez ele usa suas concepções em nível submicroscópico para explicar o fenômeno.

Na Tabela 11 apresenta-se os níveis de compreensão do aluno para cada conceito na 2ª dimensão de análise e no Quadro 51 é apresentada a visão panorâmica do nível de compreensão do aluno.

Tabela 11 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “D” - 2ª Dimensão de Análise

2ª Dimensão Natureza Elétrica da Matéria Conceitos Explorados		1º Período	2º Período	Fases da Coleta de Dados			4º Período	5º Período
				3º Período				
				Entrevistas				
				Pré-teste	1ª	2ª		
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Perda de elétrons pelo átomo. (Indicação da situação com manifestação de explicações)	2,5	NE	NE	NE	4,0	4,0	2,0
	Condutibilidade elétrica considerando a formação de íons	2,5	NE	NE	NE	3,0	3,0	2,0
	Condutibilidade elétrica considerando Movimentação dos elétrons	2,5	NE	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0
	Nível de Compreensão na Dimensão por Período	2,5	-	3,0	2,0	3,0	3,0	2,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista.

Quadro 51 - Níveis de compreensão do aluno "D", por períodos - 2ª dimensão de análise

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012		2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS						Pós-teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado								
4,0										
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado								
3,0				▲		▲	▲			
2,5	Vaga	Inadequado	▲							
2,0					▲				▲	
1,5	Insuficiente									
1,0										

Legenda: (▲) 2ª dimensão de análise.

Na 3ª dimensão a figura 60, são apresentadas as concepções do aluno "D" sobre os conceitos de interações intra e inter partículas, que o aluno se baseia para explicar fenômenos do cotidiano, tais como, as mudanças de estado físico, solubilidade e transformações químicas.

Inicialmente o aluno explicou que o aumento no volume da água na mudança de estado físico se devia a existência de ar entre as partículas. Segundo ele quando a água solidifica o ar é expulso e o volume aumenta.

No 1º período, a fusão da parafina foi entendida como "derretimento", ele não utilizou o termo fusão. Ao comparar a fusão entre a parafina e o chumbo ele considerou que a "parafina era *mais fina* e o chumbo mais denso", por isso, ela se fundia com mais facilidade. O aluno explicou os fenômenos com base na aparência do material. Fato esse, que pode ser justificado, pois a professora estava discutindo as propriedades macroscópicas dos materiais. Solicitado a raciocinar em termos da estrutura da matéria, ele passou a considerar a quantidade de partículas existentes nos materiais e comentou: "*As partículas da parafina são poucas e com a energia que seria o fogo, elas começam a morrer. Meio que se destruir*". Foi possível verificar que ele atribuiu às partículas, ideias animistas e substancialistas. Estudantes que apresentam esta visão

substancialista, tendem a representar as partículas como uma cópia da própria realidade.

A solubilidade do cloreto de sódio em água, foi considerada pelo aluno como "diluição". Diluir, não significou para ele que o sal havia "sumido", mas relacionou a diluição com a "textura" do material, conforme se verificou em sua fala *"O sal poderia diluir mais, ter uma textura um pouco mais fraca ou diluir menos, ou seja apresentar uma textura mais forte"*. Suas explicações parecem focar na aparência do material.

No 2º período para explicar a volatilidade do álcool em relação à da água, o aluno usou novamente ideias sobre a "textura" dos materiais. Essa ideia, pode se tornar um obstáculo para que o aluno avance para uma explicação em nível submicroscópico uma vez, que foi muito recorrente em suas explicações.

A contração de volume em uma mistura contendo água e álcool, foi entendida como a "junção" das substâncias, termo muito empregado pela professora no ensino. Pelo que se observou nas explicações do aluno, "junção", significava para ele uma união de substâncias. Comentou que os átomos, durante a mistura de água e álcool se "uniam", portanto o volume contraiu: *"Ah! Devido à quantidade de átomos e moléculas da água e a quantidade de átomos e moléculas do álcool, quando se juntam os dois, um se une ao outro"*.

No 3º período o aluno ao comparar as temperaturas de ebulição do etanol e da acetona argumentou que o etanol necessitava de mais calor para mudar de estado físico. Utilizou ideias envolvendo cargas elétricas para explicar a diferença de estado físico entre o etanol e o gás carbônico, como, explicitado em sua fala: *"Em modelos que você vê as moléculas, por exemplo, no modelo sólido da água as moléculas elas sempre estão juntas, mas entre elas existem essas pontes. Elas... Devido à agitação delas uma envia átomos, perdão, uma envia cargas pra outra. No caso do gás carbônico na forma gasosa, que a gente conhece, elas são separadas, mesmo assim elas ficam juntas pelo fato de elas não dão cargas umas para as outras"*.

Figura 60 – Quarto Mapa Cognitivo - Concepções do aluno "D" para os conceitos de interações intra e inter partículas

A utilização, pelo aluno de ideias sobre cargas elétricas, pode ser justificada, pois a professora estava discutindo questões que envolviam a natureza elétrica da matéria. Fazendo uso dessas ideias, o aluno explicou a diferença entre o gás carbônico e o gelo seco, comentando que no estado gasoso, ocorriam poucas cargas elétricas e as moléculas ficariam mais separadas. O aluno, parece pensar em forças de atração eletrostáticas, embora em sua linguagem se observe muitos erros conceituais.

No 4º período, para explicar os estados físicos da matéria, o aluno continuou a considerar a ideia sobre forças de atração e utilizou uma representação típica, que, normalmente é empregada pelos professores para explicar os estados físicos da matéria, como mostra a Figura 61.

Figura 61 - Estados físicos da matéria, representação pictórica do aluno "D"

A dissolução do cloreto de sódio em água, foi explicada pelo aluno com concepções alternativas. Ele explicou que o sal se "soltou" da água, como se observa em sua explicação: *"Ao se misturar com a água, ele meio que, eles retornam, eles acabam se soltando entre si, o próprio sal e a molécula da água e a molécula do sal acabam perdendo certos elétrons também. E acabam se transformando em íons e esses íons"*.

O aluno evolui ao pensar sobre a de formação de íon. Parece que começou a estabelecer relações conceituais, utilizando seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria para explicar a produção de energia elétrica, embora suas ideias pareçam confusas.

Ao explicar as transformações químicas, inicialmente o aluno considerou que ocorrem quebras das ligações e as substâncias se modificam, mas a aparência continua a mesma. O aluno tentou explicar a mudança na aparência do sistema e não na estrutura submicroscópica das substâncias. Considerou que, um fruto apodrece devido a ação de bactérias e fungos formando uma espécie de bolor. Ele se atém aos aspectos perceptíveis do sistema. O

reconhecimento de evidências nas transformações foi um ponto marcante em suas explicações, como se observou pela sua fala: *"Uma das evidências que eu posso falar que é de que na transformação química há liberação de calor"*.

Esse fato pode ser justificado, pois nessa fase do ensino (1º período) ideias sobre as evidências das transformações químicas estavam sendo discutidas e inclusive os alunos foram ao laboratório e realizaram vários testes para identificá-las. No entanto, uma das preocupações no ensino é, que o aluno perceba que evidências são importantes para o reconhecimento de uma transformação, mas que nem sempre ocorrem. Porém, além dos aspectos aparentes da transformação química, o ensino deve dar condições aos alunos a pensarem sobre os aspectos em nível submicroscópico que envolvem as mesmas, o que poderá melhorar a compreensão do fenômeno pelos alunos. Portanto essas ideias devem ser retomadas sempre que possível.

Quando o aluno foi solicitado dar uma explicação em nível submicroscópico para um fenômeno que envolvia uma transformação química, foi possível perceber como a visão aparente do fenômeno dificultou sua compreensão. Pela fala do aluno se observou essa dificuldade: *"Em algumas vezes pode ter uma diminuição de átomos ou até o crescimento de átomos naquele material. Quando a madeira é transformada em carvão, ela vai perdendo os átomos. E é por isso que existem produtos químicos que conforme perdem os átomos é se perdessem a resistência"*.

No ensino de transformações químicas os alunos não foram levados a pensar sobre o fato de que os átomos dos reagentes não são destruídos, mas sofrem recombinações e na época em que foram exploradas as ideias sobre a conservação da massa (1º período) foram valorizados os aspectos quantitativos. Os alunos realizaram experimentos e fizeram cálculos para comprovar a famosa lei da Conservação da Massa.

No entanto, o aluno "D", ao ser questionado sobre a conservação de massa em uma transformação química, embora tenha citado a Lei de Lavoisier, argumentou que a mesma quantidade de átomos que existia antes da reação se formou após a reação, por isso a massa permanece a mesma, e explicou: *"Eu acho que os átomos não mudaram somente se transformaram e se não se perdeu átomos a massa permaneceu a mesma"*. Apesar de não explicitar

corretamente ideias de rearranjo de átomos, o aluno está elaborando uma explicação em nível submicroscópico superando a visão aparente do sistema.

O aluno também reconheceu, a simbologia da química, pois mostrou compreensão na interpretação da equação química, representativa da reação entre o gás hidrogênio e o gás oxigênio. Forneceu o significado dos índices e coeficientes envolvidos na equação da reação, indicando, por exemplo, que na representação do 2H_2 , o número 2 da fórmula indica a quantidade de átomos presentes e o número 2 da frente da fórmula a quantidade de matéria. A professora nessa fase estava tratando sobre a simbologia e a interpretação das equações de reações com uso da linguagem química, o que favoreceu a interpretação dada pelo aluno.

No 3º período o aluno voltou a utilizar concepções alternativas para explicar a formação da ferrugem, no entanto, citou que os átomos e células do ferro morriam: *"Devido ao tempo, as moléculas do ferro, as células e os átomos do ferro, com o tempo, por exemplo, normalmente se vê ele começa a morrer. As células do ferro começam a morrer então, mesmo que o ferro seja um objeto inanimado possui células vivas. Mas com o tempo e talvez até com a água, ele pode corroer e as moléculas dele, os átomos, começam a morrer"*.

O aluno utilizou de concepções alternativas e cometeu uma série de erros conceituais para explicar a formação da ferrugem. O aluno articulou com os conhecimentos que possuía em nível submicroscópico, mas não estabeleceu relações conceituais para explicar o fenômeno. Os novos conhecimentos não deram conta de que ele elaborasse novas explicações. Segundo Luffiego-Garcia (2001) pode ser que o aluno tenha ativado o conhecimento prévio e não tenha estabelecido nenhuma relação deste com seus novos conhecimentos e, portanto, este tenha sido utilizado. Desta forma, a ideia animista sobre a matéria, pode ser um fator limitador na construção de novas ideias pelo aluno.

Ainda nesse período a ideia "junção de partículas" já apresentada pelo aluno foi retomada para explicar a transformação química, embora tenha reconhecido a diferença entre a transformação química e a mudança de estado, fazendo a seguinte colocação: *"Na mistura de água e álcool, não se formam novas substâncias"*.

Considerando que nessa fase o aluno já havia passado pelo ensino da estrutura atômica, ligações químicas, provavelmente seus esquemas operatórios sofreram enriquecimentos e ele conseguiu estabelecer novas relações conceituais reestruturando suas ideias e empregando seu potencial cognitivo para elaborar uma boa explicação.

No 4º período, voltou a usar ideias de cargas elétricas para explicar a formação da ferrugem. Justificou que alguns metais demoram mais a oxidar do que outros, pois apresentam "alguma carga". O aluno tentou explicar a condutibilidade elétrica dos metais com a capacidade de os mesmos perderem elétrons. Parece que o aluno está tentando usar seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria. Também argumentou que em uma transformação química os átomos não mudam mas se "deslocam". Pode estar pensando no rearranjo dos átomos, pois para explicar a formação do gás carbônico comentou: *"Os átomos não mudam. E eles não mudam, mas eles se deslocam no caso do oxigênio com o carbono, eles se deslocam pra um lugar onde tenha carbono para se transformar no gás carbônico"*.

O aluno está tentando de alguma forma organizar seus conhecimentos, pois se observa o esforço intelectual que faz para dar uma explicação coerente.

No final do período passou a conceber que em uma transformação química, ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e formam-se novas substâncias.

Na Tabela 12 se apresenta os níveis de compreensão para cada conceito na 3ª dimensão de análise e no Quadro 52 a visão panorâmica do nível de compreensão do aluno.

Tabela 12 - Nível de Compreensão das Explicações do Aluno “D” - 3ª Dimensão de Análise

3ª Dimensão Interações Intra e Interpartículas Conceitos Explorados		1º	2º	Fases da Coleta de Dados			4º	5º
		Período	Período	3º			Período	Período
		Pré-teste	1ª	ENTREVISTAS			5ª	Pós-teste
				2ª	3ª	4ª		
Modelos Explicativos em Nível Sub microscópico	Transformação química considerando as interações intra partículas (rearranjo entre as partículas).	2,0	2,5	3,0	2,0	3,0	4,0	4,0
	Interações Intra partículas considerando: a mudança de estado físico.	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,0
	Interações Intra partículas considerando: a volatilidade, solubilidade e outras propriedades.	1,5	2,5	NE	2,5	3,0	3,0	2,0
	Nível de compreensão na dimensão por período	2,0	2,5	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0

Legenda: NE = conceito não explorado na entrevista.

Quadro 52 - Visão panorâmica do nível de compreensão do aluno "D"

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012	2013	2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS				Pós-teste
			1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	
4,5	Boa	Adequado						
4,0								
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado						
3,0						●	●	●
2,5	Vaga	Inadequado		●	●			
2,0			●	●				
1,0	Insuficiente							
1,5								

Legenda: (●) 3ª dimensão de análise.

Considerando as três dimensões de análise e os níveis de compreensão dos modelos explicativos do aluno ao longo do estudo longitudinal, no Quadro 53 é ilustrado o desenvolvimento conceitual do aluno "D" atingido nesse estudo.

Quadro 53 - Desenvolvimento conceitual do aluno "D"

Nível de Compreensão		Nível de Adequação	2012	2012	2013		2014	2014	
			Pré - Teste	ENTREVISTAS					Pós - Teste
			1º Período	2º Período		3º Período		4º Período	5º Período
4,5	Boa	Adequado							
4,0									
3,5	Alguma	Parcialmente Adequado							
3,0				▲	★	★▲	★▲	★●	
2,5	Vaga	Inadequado	▲	●		●			
2,0			★●	★	★●	▲			▲
1,0	Insuficiente								
1,5									

Legenda: (★) 1ª dimensão de análise, (▲) 2ª dimensão de análise, (●) 3ª dimensão de análise.

O aluno iniciou pensando na matéria como sendo constituída por "células", ideia que persistiu em suas concepções. Apresentou uma visão contínua da matéria, considerando que além das células existia ar e água na constituição da matéria. No entanto, após o ensino do modelo atômico de Dalton, começou a manifestar ideias em nível submicroscópico considerando a existências de partículas denominadas de átomos como formadoras da matéria.

Escolheu como modelo representativo de suas ideias de átomo o modelo de Rutherford, mas não soube diferenciar corretamente o núcleo e a eletrosfera.

Considerou o núcleo com partículas, tais como prótons e elétrons e chamou a eletrosfera de corrente.

Na construção de seu modelo de átomo, apesar de o aluno considerar a existência das partes e partículas, não foi capaz de sistematizar essas ideias apresentando um modelo coerente. Apresentou um modelo de átomo, no qual, desenhou anéis ao redor do núcleo e indicou nos anéis as partículas: prótons, nêutrons e elétrons. Em sequência, incorporou nesse modelo de anéis um círculo em volta dos mesmos e, indicou os nêutrons entre o círculo e os anéis. Talvez, tenha associado os modelos advindos do ensino ao seu próprio modelo.

Uma dificuldade que persistiu do começo ao final do estudo, foi que o aluno atribuiu ao próton a carga negativa e ao elétron a carga positiva, o que afetou sua compreensão dos fenômenos que necessitavam de explicação com utilização da natureza elétrica da matéria, tais como a condutibilidade, dissolução.

Apresentou dificuldade na elaboração da ideia da existência de espaços vazios na matéria. Transitou entre concepções ao nível macroscópico e submicroscópico, considerando na maioria das vezes, a existência de ar entre as partículas, depois calor até chegar às ideias de cargas elétricas. Suas explicações, na maioria das vezes foram ricas em concepções alternativas. A ideia de movimento das partículas, surgiu quando ele comentou que as partículas subatômicas "giravam" em volta dos anéis do modelo de seu átomo. Também ocorreu a ideia de movimento relacionadas a ação de agentes externos, como, agitação, calor.

Para explicar fenômenos do tipo, perda de elétrons, condutibilidade elétrica e formação de íons, o aluno evoluiu em utilizar explicação em nível macroscópico às de nível submicroscópico, mas sempre acompanhadas de concepções alternativas. A principal ideia que ficou para o aluno é que estes fenômenos, como perda de elétrons, formação de íons e condutibilidade elétrica, sempre envolviam cargas elétricas e calor. Conseguiu compreender a formação dos íons, mas não soube aplicar esta ideia na explicação sobre condutibilidade elétrica de uma solução aquosa.

Embora, tenha utilizado ideias sobre forças de atração entre as partículas das substâncias para explicar a dissolução, mudanças de estado, não apresentou uma boa compreensão sobre interações associadas às forças

eletrostáticas. Atribuiu às partículas submicroscópicas ideias animistas e substancialistas, em muitas de suas explicações. A transformação química inicialmente explicada com base nos aspectos perceptíveis evoluiu em considerações de quebras e formação de ligações com a formação de novas substâncias.

No geral o aluno evolui de um nível insuficiente de compreensão a um nível de alguma compreensão, embora com explicações apresentando muitos erros conceituais e concepções alternativas.

✓ **Análise do desenvolvimento conceitual dos estudantes**

A seguir apresenta-se a análise do desenvolvimento conceitual considerando a compreensão alcançada pelos quatro estudantes A, B, C e D no estudo longitudinal.

Após a análise individual de cada um dos estudantes considerou-se as explicações mais recorrentes que apareceram em dois momentos: inicial e final. Dessa forma, foram consideradas como ideias iniciais, as mais recorrentes nos 1º e 2º períodos, momento em que o aluno iniciava o Ensino Médio e provavelmente trazia suas primeiras concepções sobre fenômenos e alguns conceitos de química. As ideias finais foram aquelas mais recorrentes entre o 3º ao 5º período, momento em que a professora discutia e aprofundava sobre os conceitos de químicas e o aluno poderia elaborar melhor suas explicações.

Quatro níveis explicativos foram elaborados para cada uma das dimensões de análise. Na 1ª dimensão de análise, consideraram-se as seguintes ideias - descontinuidade da matéria, reconhecimento e utilização das partículas subatômicas, elaboração de um modelo atômico coerente (identificação correta das partes e partículas do átomo), ideias sobre movimento e espaços vazios entre as partículas. Na 2ª dimensão de análise foi considerada a compreensão da perda de elétrons pelo átomo, associada à construção do conceito de íon e à condutibilidade elétrica. Na 3ª dimensão de análise foram consideradas: Interações intra e interpartículas, associadas às forças eletrostáticas na explicação de fenômenos (mudança de estado, dissolução, volatilidade) e o rearranjo de átomos na interpretação das transformações químicas. Dessa maneira, definiram-se os quatro níveis, descritos no Quadro 54.

Quadro 54 - Níveis Explicativos extraídos das regularidades das respostas dos quatro alunos do estudo longitudinal

1ª dimensão de análise	
Nível I	Matéria contínua. Ausência de um modelo de átomo, ou presença de um modelo de átomo, por exemplo, com representação de "bolinhas" associado à visão em nível macroscópico da matéria. Ausência de ideias sobre o movimento intrínseco das partículas e de espaços vazios
Nível II	Matéria descontínua, reconhecimento de partículas subatômicas sem a discriminação correta de suas cargas elétricas e posicionamento no átomo. Modelo de átomo com presença de erros na representação e identificação de suas partes e partículas. Ausência da ideia de movimento e de espaços vazios
Nível III	Matéria descontínua, reconhecimento de partículas subatômicas sem a discriminação correta de suas cargas elétricas e posicionamento no átomo. Presença de um modelo de átomo com a presença de erros na representação e identificação de suas partes e partículas. Presença da ideia de movimento e ausência das ideias de espaços vazios
Nível IV	Matéria descontínua, reconhecimento de partículas subatômicas, de suas cargas elétricas e posicionamento no átomo. Presença de um modelo de átomo, coerente com os da ciência com identificação de suas partes e partículas. Presença de ideias de movimento e de espaços vazios.
2ª dimensão de análise	
Nível I	Ausência de compreensão de fenômenos associados a perda de elétrons, formação de íon e condutibilidade elétrica em nível atômico molecular.
Nível II	Compreensão de fenômenos associados a perda de elétron, ausência de compreensão do conceito de íon, ausência de explicações em nível submicroscópico para justificar a condutibilidade elétrica.
Nível III	Compreensão de fenômenos associados a perda de elétrons, construção do conceito de íons, utilização de conceitos em nível atômico molecular para justificar a condutibilidade elétrica, com presença de erros conceituais
Nível IV	Compreensão de fenômenos associados a perda de elétrons, construção do conceito de íons, utilização de conceitos em nível atômico molecular para justificar a condutibilidade elétrica coerentes com os modelos da ciência.
3ª dimensão de análise	
Nível I	Ausência de ideias sobre rearranjos entre os átomos na explicação de uma transformação química. Ausência de ideias sobre interações eletrostáticas na explicação de fenômenos: dissolução, volatilidade e mudança de estado físico.
Nível II	Reconhecimento da formação de novas substâncias em uma transformação química com presença de concepções alternativas do tipo: "junção", "mistura", "aumento de quantidade" de átomos e moléculas. Ausência de ideias sobre interações eletrostáticas na explicação de fenômenos: dissolução, volatilidade e mudança de estado físico.
Nível III	Reconhecimento da formação de novas substâncias em uma transformação química considerando rearranjo entre os átomos. Presença de ideias sobre interações eletrostáticas, com erros conceituais para explicar fenômenos: dissolução, volatilidade e mudança de estado físico.
Nível IV	Reconhecimento da formação de novas substâncias em uma transformação química, considerando rearranjo entre os átomos. Presença de ideias sobre interações eletrostáticas na explicação de fenômenos: dissolução, volatilidade e mudança de estado físico.

Desta forma as ideias iniciais e as ideias finais de cada um dos alunos foram classificadas de acordo com estes níveis explicativos. No Quadro 55 se apresentam o resultado desta classificação.

Quadro 55 - Classificação da explicação do aluno no nível explicativo

Nível Explicativo	1ª dimensão		2ª dimensão		3ª dimensão	
	Ideias iniciais	Ideias finais	Ideias iniciais	Ideias finais	Ideias iniciais	Ideias finais
IV		B/C/D		C		C
III	B			B/D	B	B/D
II	D	A	B/C		D	A
I	A/C		A/D	A	A/C	

Legenda: A,B.C e D representam os alunos categorizados nos respectivos níveis explicativos

Para acompanhar o desenvolvimento conceitual dos alunos, no Quadro 56, elaborado com base nos dados do Quadro 55 se apresentam os níveis explicativos nos quais se apresentavam as ideias iniciais do aluno e qual o nível explicativo que o aluno alcançou ao final do estudo longitudinal.

Quadro 56 - Níveis explicativos alcançados pelos alunos

Níveis Explicativos nas 1ª, 2ª e 3ª dimensão de análise (inicial)				Níveis Explicativos nas 1ª, 2ª e 3ª dimensão de análise (final)		
Nível	I	I / II	II / III	I / II	III / IV	IV
Aluno	A	C / D	B	A	B / D	C

Considerando-se as três dimensões de análise observou-se que a aluna "A" não apresentou evolução significativa em suas concepções. A visão inicial da continuidade da matéria, a ausência de abstração em considerar a existência de espaços vazios entre as partículas e a inconsistência de seu modelo de átomo, no qual, as partículas pareciam não fazer parte do mesmo, com falta de reconhecimento das cargas elétricas das mesmas, dificultaram à aluna avançar em ideias que exigiam explicações utilizando a natureza elétrica da matéria, tais como, formação de íons, condutibilidade elétrica e ideias relacionadas a interações eletrostáticas na explicação de fenômenos (dissolução, mudança de estado físico e transformações químicas).

Apesar de a aluna apresentar um modelo para o átomo, representando-o por "bolinhas", ela não incorporou a ideias de que essas bolinhas seriam em última análise partículas submicroscópicas constituintes da matéria.

O ensino para esta aluna pareceu inócuo. Apesar de a aluna ter se apropriado de vários conceitos e de usar termos da química, ela não conseguiu

estabelecer relações entre estes conceitos para elaborar explicações mais reflexivas. Pode ser que, segundo Benarroch (2001), a aluna não tenha desenvolvido esquemas operatórios satisfatórios para compreender os conceitos que aprendia, suas explicações mantiveram-se superficiais, com base nos aspectos observáveis. Ela não conseguiu dar sentido aos conceitos que ela abstraía no processo de aprendizagem. Desde o início a aluna teve dificuldade em organizar suas ideias não conseguindo expressar os elementos de seu conhecimento de forma coerente, os quais se mostraram incompletos e imprecisos.

Os alunos C e D apresentaram inicialmente ideias nos mesmos níveis explicativos I e II, no entanto, o aluno “C”, apresentou evolução conceitual mais acentuada do que o aluno D.

A principal característica do aluno “C” é a de que, ao entender que a matéria era descontínua, ele elaborou um modelo de átomo diferenciando suas partes e partículas de maneira correta, identificando as cargas elétricas das partículas e concebeu a ideia de que entre as partículas constituintes dos átomos ocorriam interações eletrostáticas e de que existia o vazio entre elas. Desta forma, ele reestruturou desde o início suas ideias sobre o átomo, incorporando elementos em seu modelo de átomo melhor do que os outros alunos. O aluno sempre se mostrou muito reflexivo ao manifestar suas explicações. Neste processo de reflexão, o aluno parece ter enriquecido seus esquemas operatórios e conseqüentemente ele conseguiu estabelecer relações conceituais de níveis mais elevados, pois ampliou seus conhecimentos, ainda que de forma gradativa (MARIN; BENARROCH,1998). Ele não considerava a ideia do vazio e foi construindo-a, ele conseguiu durante o processo de aprendizagem conectar seus conhecimentos, ou seja, usou seu modelo de átomo para explicar a formação de íons, usou a ideia de íons para explicar a condutibilidade elétrica e utilizou suas ideias de interações entre as cargas elétricas das partículas para explicar a dissolução e a transformação química.

O aluno “D”, ao contrário do “C”, ao ser questionado, manifestava explicações sem muita reflexão. Ele queria falar, argumentar, expor suas ideias, mas não refletia muito sobre elas. O principal obstáculo que o impediu inicialmente em pensar no átomo era o fato de que ele acreditava que tudo era constituído por células, inclusive o átomo. Essa ideia pareceu persistir, pois, ao

representar o átomo, com um núcleo central e anéis, o aluno incorporou um círculo, delimitando o átomo, tal como se representa uma membrana de uma célula.

Pode ter ocorrido que durante o ensino dos modelos atômicos, ele tenha abstraído o modelo que lhe foi apresentado (camadas concêntricas). No entanto o mesmo não utilizou este modelo para reestruturar suas concepções do átomo apresentada anteriormente. Dessa forma, o conhecimento prévio e o novo conhecimento passaram a coexistir em suas estruturas de pensamento. Pode-se inferir que estes conhecimentos não se integraram, por isso o aluno apresentou em alguns períodos do ensino, modelos com a representação tanto dos anéis quanto do círculo que delimitava os anéis. Segundo Luffiego (2001), se prolongar a coexistência desses conhecimentos, poderá ocorrer o enfraquecimento do conhecimento científico e, o conhecimento prévio ficar fortalecido e, o ensino ter relativo fracasso. No caso do aluno “D”, a dificuldade de reestruturar seu modelo de átomo, foi uma barreira para que ele manifestasse explicações mais elaboradas para os fenômenos que exigiam conhecimentos sobre a natureza elétrica da matéria.

Embora o aluno “D”, tenha iniciado no mesmo nível explicativo que o aluno “C”, ele alcançou para níveis explicativos inferiores que o aluno C, o qual ampliou suas concepções gradativamente, conseguindo reorganizar algumas ideias e estabelecer conexões de forma produtiva. Como parte desse processo, algumas ideias, como às de que o átomo é a unidade fundamental da matéria se tornaram central para esse aluno D, e outras, no entanto, como o fato de o próton ser a partícula de carga negativa, dificultaram sua compreensão sobre a formação do íon.

Embora se tenha apresentado ao aluno várias situações e problemas para que o mesmo expressasse suas concepções e as relacionasse, as ideias sobre a estrutura do átomo não foram construídas de maneira coerente com os modelos científicos. O aluno pode não ter disposto de todas as competências necessárias, ou seja, pode não ter apresentado esquemas para ele resolver determinada tarefa, como a de elaborar e utilizar seu modelo de átomo com reconhecimento de partes e partículas de forma correta.

Quanto ao aluno “B”, iniciou com ideias entre o II e III níveis de explicação, e progrediu para o III e IV. Diferentemente dos alunos A, C e D, o aluno “B” já

apresentava uma ideia mais consistente sobre o fato de a matéria ser formada por átomos. O aluno teve dificuldade de diferenciar entre as cargas elétricas das partículas constituintes do átomo, no entanto, seu modelo de átomo se apresentava mais organizado do que os modelos dos alunos A e D

A dificuldade em diferenciar entre as cargas elétricas das partículas pode ter constituído uma barreira para que ele avançasse na construção de conceitos sobre interações intra e interpartículas e formação de íons.

Outra característica marcante desse aluno, foi a de que, embora ele apresentasse ideias sobre os fenômenos e tentasse explicá-los em nível submicroscópico, ele empregava os termos da linguagem química com muitos erros conceituais. Pode ser que os conceitos por ele apresentados, ainda não estejam estruturados em sua estrutura cognitiva e lhe faltam estratégias para reestruturá-los, então ele manifesta uma resposta, rápida, na tentativa de resolver a situação, usando termos que podem não ter significado.

Os processos de aprendizagem dos alunos, foram lentos e graduais, não foram realizados de forma rápida e clara. Os alunos apresentaram ao longo dos períodos avanços e retrocessos em suas formas de pensar.

Os resultados mostraram que os conhecimentos dos alunos não se apresentaram coerentes com as teorias científicas, mas que apresentaram evolução conceitual e os estudantes B, C e D ampliaram suas compreensões para um nível mais sofisticado de explicações durante o Ensino Médio.

A dificuldade na compreensão sobre as partículas subatômicas e a diferenciação de suas cargas elétricas e de suas interações, dificultou a elaboração pelos alunos de um modelo de átomo, e isso, prejudicou o avanço na compreensão da formação de íons, condutibilidade elétrica, e fenômenos que envolviam ideias sobre forças eletrostáticas.

Seria necessário que o professor explorasse mais os modelos explicativos dos alunos e que fossem retomados conceitos sobre a estrutura da matéria, considerando cada uma das dimensões aqui analisadas para que o aluno pudesse reconstruir suas concepções, reorganizando suas estruturas cognitivas. Desta forma os conceitos em nível submicroscópico, podem estar "desconectados" na mente dos alunos, o que exigirá um processo lento e gradual para sua reestruturação.

Considerando os períodos (1º e 2º) - ideias iniciais, nos quais a professora apresentava os primeiros conceitos sobre a natureza da matéria, com a introdução do modelo de átomo de Dalton, foi possível perceber que os quatro alunos se mantiveram nos níveis explicativos I e II. No entanto, os alunos B e D avançaram para os níveis explicativos III e IV e o aluno C ampliou suas explicações para o nível IV, uma vez que conseguiram estruturar suas concepções sobre a estrutura do átomo no decorrer da aprendizagem. O aluno C foi o que apresentou maior enriquecimento de suas explicações, uma vez, que além de construir o modelo de átomo ampliou suas ideias sobre a existência de espaços vazios. A aluna A, por sua vez, não atingiu um nível satisfatório de evolução de suas explicações, pois não construiu um modelo para a compreensão da estrutura da matéria e sua natureza elétrica. Talvez, a aluna A não tenha conseguido, segundo Benarroch (2001) estabelecer relações entre seus esquemas específicos e, seus esquemas operatórios não se articularam, por exemplo, como os do aluno C.

Esta análise implica na importância de se reconhecer a aprendizagem dos alunos como uma rede de conhecimentos que precisam ser conectados com a mediação do ensino. O professor precisa conhecer como esses conceitos são ativados pelos alunos. Para tanto devem ser dadas oportunidades para que os alunos manifestem suas concepções, discutam suas ideias, reflitam sobre as mesmas, confrontem as ideias em vários contextos, aplicando seus conhecimentos, ao longo do Ensino Médio, para que possam reestruturá-las.

6 Conclusões e Considerações

A partir da análise do desenvolvimento conceitual dos 91 alunos de 1ª a 3ª séries e dos quatro alunos acompanhados durante o estudo longitudinal, foram encontrados os seguintes resultados:

As explicações manifestadas pelos alunos na 1ª dimensão de análise (natureza da matéria), variou entre os níveis de inadequação à parcial adequação com evolução das explicações quando passaram da 1ª à 3ª série, com avanços e retrocessos em seus modelos explicativos durante esse percurso.

Concepções dos alunos sobre a matéria ser constituída por átomos variaram desde explicações genéricas, com argumentos de que os cientistas estudaram sobre este fato até ideias que reconhecem o átomo como a unidade básica da constituição da matéria. Os alunos da 1ª série foram os que mais apresentaram dificuldades em reconhecer o átomo como parte fundamental matéria.

O modelo representativo do átomo como o de Rutherford foi escolhido pela maioria dos alunos, no entanto, as partes (núcleo e eletrosfera) e partículas (próton, nêutron e elétron) não foram identificadas e definidas corretamente. O modelo de Rutherford é um dos mais enfatizados no ensino pelos professores e talvez, isso venha influenciar as escolhas dos alunos.

O núcleo foi mais reconhecido do que a eletrosfera. Para a eletrosfera, os alunos atribuíram termos como corrente, membrana e elétron, e cometeram muitos erros conceituais ao considerarem as partículas que se encontram no núcleo. O nível de compreensão dos alunos ao considerarem as partes e partículas avançou da 1ª a 3ª série. No entanto, mesmo os alunos da 3ª série tiveram dificuldade em descrever as partes do átomo e suas partículas, o que indicou que ideias fundamentais sobre a estrutura da matéria foram pouco elaboradas por esses alunos, e isto implica que o ensino deve retomar estes conceitos constantemente.

Noções sobre a existência de espaços vazios e movimento entre as partículas foram pouco consideradas pelos alunos. A maioria deles apresentou

uma vaga compreensão sobre estes aspectos. Consideraram que entre as partículas das substâncias existia, ar, poeira ou mais partículas do mesmo material. O movimento intrínseco das partículas foi pouco considerado, ao se referirem as partículas subatômicas e melhor consideradas entre partículas das substâncias. A ideia de movimento foi relacionada a fatores externos, tais como, agitação e variação de temperatura. A ideia de movimento foi associada aos estados físicos da matéria, com a movimentação entre as partículas diminuindo do estado gasoso para o líquido e sendo inexistente no sólido, ideia essa bastante difundida no ensino.

Na 2ª dimensão de análise, a utilização de ideias sobre a natureza elétrica da matéria na explicação de fenômenos foi feita com pouca coerência em todas as séries. A possibilidade de um átomo perder elétrons foi pouco reconhecida entre os alunos nas 1ª e 2ª séries e melhor identificada pelos alunos na 3ª série. No entanto, as justificativas apresentadas por esse grupo de alunos (3ª série) para explicar o fenômeno, se mostraram com grau de dificuldade acentuado. É preciso que o ensino valorize a aplicação destes conceitos em contextos, para que os alunos lhes atribuam significados. Ocorreram muitas ideias alternativas, principalmente entre os alunos da 1ª série, ao explicarem a perda de elétrons pelo átomo. Este fato, não foi nenhuma surpresa, visto que estes alunos ainda estavam iniciando o Ensino Médio.

Entre os alunos da 2ª e 3ª séries predominaram explicações em nível submicroscópico com vaga compreensão. Suas respostas apresentaram muitas concepções alternativas, atribuindo propriedades animistas e substancialistas às partículas para justificarem o fenômeno. Os alunos manifestaram muitas ideias com base nos aspectos perceptíveis do material ou substância. Não utilizaram seus modelos de átomo para propor explicações para a condutibilidade elétrica de solução aquosa e de metais. O ensino parece não ter proporcionado aos alunos, principalmente os da 2ª e 3ª séries, subsídios para que eles pudessem reelaborar suas concepções e utilizar um conceito para auxiliar a compreensão de outro. Os alunos não são alfabetizados cientificamente no assunto.

Os conceitos parecem fazer parte de suas estruturas de conhecimento, no entanto, os alunos não conseguiram estabelecer relações conceituais que os levassem a interpretação dos fenômenos. Parece lhes faltarem esquemas operatórios para articularem com os conceitos (BENARROCH, 2001; MOREIRA,

2002). Seria importante que o ensino problematizasse as ideias de senso comum que os alunos manifestam, para que eles possam refletir sobre elas, para que não se constituam em barreiras para a aprendizagem de conceitos.

Na 3ª dimensão de análise, as concepções relacionadas com forças eletrostáticas para explicar as propriedades da matéria, se mostraram-se inadequadas entre os alunos da 1ª série, e poucos alunos da 2ª e 3ª séries evoluíram em explicar os fenômenos com a utilização destas ideias.

Os alunos têm muita dificuldade em reconhecer que em uma transformação química ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias reagentes e que estes se rearranjam para formarem novas substâncias. Foi muito enfatizado pelos alunos a ideia de "junção" de átomos em detrimento do rearranjo. Concepções como as de que nas transformações químicas as substâncias desaparecem, ou modificam sua aparência, ou, ainda, continuam as mesmas, foram comuns entre os alunos. De maneira geral, os alunos tiveram dificuldade de explicar a transformação química utilizando modelos submicroscópicos. Entre eles, os alunos da 2ª série foram os que mais se aproximaram da utilização desses modelos. Os alunos da 3ª série já haviam estudado conceitos sobre interações eletrostáticas (ligações químicas e forças intermoleculares) e foram os que menos empregaram o conceito corretamente.

Isto levou a considerar que os alunos acionam os conceitos com mais frequência no momento que estes estão sendo ensinados. Desta forma é oportuno pensar que, do ponto de vista da aprendizagem, os professores deveriam propor mais situações relacionadas aos conceitos que estão ensinando em sala de aula, o que poderia gerar um ganho na estruturação dos mesmos (LUFFIEGO, 2001). No geral, entre as turmas, houve predomínio da visão em nível macroscópico do fenômeno, com vaga compreensão.

Os alunos também não utilizaram conceitos sobre forças eletrostáticas para explicar os fenômenos como a mudança de estado físico das substâncias, a volatilidade e o processo de dissolução. Em suas explicações, ideias considerando a estrutura eletrônica dos átomos e interações interpartículas foram ausentes. Do ponto de vista científico, tais aspectos são fundamentais na interpretação desses fenômenos.

A falta de domínio dos alunos sobre a natureza da matéria comprometeu seus entendimentos sobre a natureza elétrica da mesma e das interações intra

e interpartículas. O ensino destes conceitos precisa ser repensado, retomado e é necessário que durante o ensino se estabeleçam relações entre estes conceitos com propostas de situações que levem os alunos a mobilizar suas concepções para reestruturá-las.

Apesar da visão pessimista da análise das concepções apresentadas pelos 91 alunos na primeira etapa do estudo, ao se olhar para os quatro alunos, que foram acompanhados ao longo do ensino médio, verificando as respostas mais recorrentes que eles manifestaram, foi possível verificar que alguns deles alcançaram para melhores níveis de compreensão. Alguns mantiveram suas concepções, como no caso da aluna “A” com discreta evolução, outros, como os alunos “B”, “C” e “D”, progrediram em reestruturar suas concepções, ainda que não tenham atingido uma compreensão dos conceitos ao nível dos modelos que a ciência propõe.

Notou-se, nesse movimento das concepções dos quatro alunos de um nível ao outro, que entender a estrutura da matéria, considerando as partículas, suas cargas elétricas e as forças de interações eletrostáticas, pode ocorrer um avanço na reelaboração e reestruturação das ideias para explicar os fenômenos. Isso foi perceptível na evolução dos modelos explicativos do aluno “C” que atingiu um bom nível de compreensão.

No entanto, quando o aluno não elabora um modelo consistente de átomo, ele tem dificuldade em alcançar a níveis de maior grau de reflexão para explicar fenômenos que envolvem conceitos sobre a natureza elétrica da matéria e interações intra e interpartículas, como foi o caso da aluna “A”.

Para o aluno “D”, as concepções alternativas que ele apresentava eram resistentes e dificultaram sua evolução conceitual. Por isso o ensino deve considerar tais concepções, dar oportunidades ao aluno para manifestá-las e provocá-lo por meio de estratégias que o façam repensar suas próprias ideias e reconsiderá-las. O aluno “D”, embora apresentasse alguma compreensão dos conceitos, não dispunha de suficientes esquemas operatórios que pudessem auxiliá-lo a reestruturar suas concepções para níveis mais elevados, de forma que ele avançou com dificuldade do nível II ao III/IV.

O aluno “B”, apesar de iniciar com vaga compreensão dos conceitos, os relacionava de forma mais efetiva que o aluno “D”, mesmo assim, apresentou dificuldade de elaborar ideias mais consistentes. Além disso o aluno “B” teve

difficuldade de articular com os termos da linguagem da química ao manifestar suas explicações, o que dificultou ao mesmo organizar suas ideias.

Considerando os quatro alunos, as principais dificuldades por eles apresentadas foram: reconhecimento das partículas subatômicas com a diferenciação de suas cargas elétricas, compreensão da ideia de espaços vazios e movimento das partículas e utilização de conceitos sobre forças eletrostáticas na compreensão da interação das partículas para explicar fenômenos, como dissolução, mudança de estado físico e volatilidade.

Sobre o ensino dos conceitos para estes alunos, pode-se destacar que: os modelos de átomo, embora tenham sido tratados no ensino foram apresentados aos alunos muito rapidamente, sem que tivessem oportunidades de abstrair as principais ideias sobre suas partes e partículas e entender as evoluções de um modelo ao outro. Não foram discutidas ideias sobre a existência de espaços vazios e movimento das partículas e não foram exploradas ideias sobre forças eletrostáticas relacionadas ao modelo de átomo. Desta forma, notamos que existe necessidade de que o ensino invista em estratégias para ensinar conceitos tão abstratos e ideias contra intuitivas como as de espaço vazio, tão importantes para o avanço de outras concepções. Estes conceitos foram apresentados de maneira pronta e acabada, apesar dos esforços da professora em apresentar os modelos por meio de vídeos, resolver exercícios e fazer leitura de textos.

O modelo de Dalton como "bolinha" foi muito enfatizado e não foram exploradas as concepções que os alunos apresentavam sobre a ideia de a matéria ser constituída por células. Ideias sobre a quantização de energia, associada ao modelo de Bohr, não foram exploradas e o conceito de transformação química como rearranjo de átomos, com quebra e formação de ligações entre os átomos, apesar de apresentado pela professora foi difícil de ser compreendido pelos alunos. O emprego do termo "junção" no ensino para expressar o rearranjo dos átomos, gerou nos alunos concepções alternativas.

A partir dos resultados encontrados nesse estudo seria importante levar em consideração no ensino de conceitos sobre a estrutura da matéria:

✓ A introdução dos modelos de átomos não como imutáveis e definitivos, mas com a apresentação de fatos e acontecimento da época, que

levaram às suas proposições e influenciaram suas modificações. É importante que o modelo atômico seja visto não como uma simples descoberta, mas uma criação científica, que auxilia a prever o comportamento macroscópico da matéria, pois caso contrário, poderá o aluno ficar com a impressão que o modelo é uma cópia da realidade.

✓ Explorar no ensino da estrutura atômica as partículas constituintes, diferenciando suas cargas elétricas, pois os alunos cometem confusões entre as mesmas e, essa dificuldade acabam por influenciar na compreensão de outros conceitos. O termo partícula, quando utilizado, deve ficar claro para os alunos, pois eles podem utilizá-lo como "pequenas partes visíveis da matéria". Seria conveniente associar a ideias das cargas elétricas das partículas às propriedades da matéria.

✓ O professor deve retomar constantemente as ideias sobre a estrutura da matéria e sempre utilizá-las para que os alunos consigam estabelecer relações entre fenômenos abordados pela Química, explicando desta forma o comportamento da matéria e fazendo previsões acerca de outras propriedades. Desta forma, o aluno poderá reestruturar cada vez mais suas concepções. É preciso um longo tempo e muito esforço intelectual para que os alunos construam compreensão em nível submicroscópico sobre conceitos relacionados à estrutura da matéria de maneira que possam utilizá-los em explicações.

✓ Auxiliar os alunos na construção de ideias sobre movimento e espaços vazios. Uma das ideias mais difíceis para os alunos é a ideia contra intuitiva do vazio. Estes aspectos são pouco tratados no ensino e são fundamentais para a compreensão da cinética química e das forças intermoleculares, para explicar as propriedades e o comportamento da matéria. Sugere-se a utilização de simulações em computadores, desenhos e analogias.

✓ Discutir o ensino de conceitos submicroscópicos de forma conectada, mostrando ao aluno a importância de um conceito na compreensão do outro. Não faz sentido os conceitos ficarem na estrutura cognitiva sem que o aluno consiga estabelecer relações conceituais e aplicar tais ideias em contextos do seu dia a dia.

✓ O ensino deve encorajar os alunos a exporem suas ideias, falarem sobre elas, discutirem com os colegas para que possam contrastar suas

concepções com os demais e rever assim suas próprias ideias. Sugere-se, no ensino, que o aluno seja exposto a diferentes contextos e situações para que utilizem seus conhecimentos. Os alunos muitas vezes, são capazes de fornecer uma explicação coerente em um determinado contexto e em outro não, por exemplo, a condutibilidade elétrica. Os alunos não são alfabetizados cientificamente no assunto.

Dessa forma, neste estudo é destacado que mais importante do que ensinar conceitos é auxiliar os alunos a uma reestruturação das concepções, com incorporação, organização e diferenciação dos conceitos e para isso, no ensino se deve levar em consideração, além de outros fatores, a estrutura de conhecimentos que o aluno apresenta.

REFERÊNCIAS

ADADAN, E.; TRUNDLE, K. C.; IRVING, K. E. Exploring Grade 11 Student's Conceptual Pathways of the Particulate Nature of Matter in the Context of Multirepresentational Instruction. **Journal of Research in Science Teaching**. v.47, n.8, p.1004-1035, 2010.

_____. ADADAN, E. Using Multiple Representations to promote Grade 11 Student's Scientific Understanding of the Particle Theory of Matter. **Research Science Education**, 2012.

ANDERSON, B. "Pupils' Explanations of Some Aspects of Chemical Reactions". **Science Education**. v. 70 (5), 549-563, 1996.

ANDRÉ, M. E. D. A.; LÜDKE, M. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

BENARROCH, B. A.; MARÍN, M. N. Dependencia de las explicaciones de los alumnos de esquemas de conocimiento específicos y generales. In: HERNÁNDEZ, E. B.; PRO BUENO, A. J. **Investigación e Innovación en La Enseñanza de Las Ciencias**. España: DM, p. 67-75, 1998.

BENARROCH, B. A. El Desarrollo Cognoscitivo de los Estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la matéria. **Enseñanza de Las Ciencias**. v.18 (2), p. 235-246, 2000.

_____. Una Interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la matéria. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 19 (1), p. 123-134, 2001.

_____. Do modelo cinético-molecular a los modelos atómicos. Reflexiones Didácticas. **Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales**. v. II (23), p.95-108, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. PCN+: **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**. Brasília, 2002.

CAAMAÑO, A.; COROMINAS, J. La construcción de concepto de ión, en la intersección entre el modelo atómico-molecular y el modelo de carga eléctrica. **Alambique**, v.42, p. 29-40, 2004.

CARMONA, A. G., "La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión". **Educación Química**, v.17 (4), p. 414-422, 2006.

CRESPO, M. A. G.; POZO, J. I.; GUTIÉRREZ, J. M. S. Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. **Educación Química**. v.15 (3), p.198- 209, 2004.

DE LA FUENTES, A. M.; PERROTA, M. T.; DIMA, G.; GUTIÉRREZ, E.; CAPUANO, V.; FOLLARI, B. " Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB)". **Enseñanza de las Ciencias**, v. 21 (1), p. 123-134, 2003.

DE POSADA APARCIO, J. M. Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. **Investigación y Experiencias Didácticas**, v.11 (1), p.12-19,1993.

ESKILSSON, O.; HELLDÉN, G. A longitudinal study on 10-12-year-olds' conceptions of the transformations of matter. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 4, No. 3, pp. 291-304, 2003.

FRANÇA, A. C. G. Formação de íon e estrutura atômica: Análise das relações estabelecidas por alunos do Ensino Médio, numa atividade do Ensino de Química. **Dissertação de mestrado**, USP, 2009.

FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. Estrutura atômica e formação de íons: Uma Análise das Ideias dos Alunos do 3º ano do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**. v.31 (4), p. 275-282, 2009.

GALIAZZI, M. C.; OLIVEIRA, L. R.; MONCKS, M. D.; GONÇALVES, M. G. V. Perfis Conceituais sobre o átomo. **ATAS ENPEC**, 1997.

GOMES, H. J. P.; OLIVEIRA, O. B. D. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Ciências & Cognição**. v12, p. 96-109, 2007.

LINDER, C. J. A. Challenge to conceptual change. **Science Education**, v. 77 (3), p. 293-300, 1993.

LIU, X.; LESNIAK, K. Student's Progression of Understanding the Matter Concept from Elementary to High School. **Science Education**, v.89 (3), p.433-450, 2005.

LÖFGREN, L.; HELLDÉN, G. A longitudinal study showing how students use a molecule concept when explaining everyday situations. **International Journal of Science Education**. v.31 (12), p.1631-1655, 2009.

LUFFIEGO, M. Reconstruyendo el Constructivismo: Hacia un Modelo Evolucionista del Aprendizaje de Conceptos. **Enseñanza de las Ciencias**. v.19 (3), p.377- 392, 2001.

MARÍN, M. N.; BENARROCH, B. A. La construcción del conocimiento de los estudiantes: una línea de investigación útil para la atención a las dificultades de aprendizaje. Educación científica: tecnologías de la información y la comunicación y sostenibilidad: Encuentros de Didáctica de Las Ciencias Experimentales Zaragoza. p.13-16, septiembre, 2006.

MARÍN, N. Evaluación de propuestas de cambio conceptual hechas desde la psicología cognitiva: Reflexiones sobre el aprendizaje de ciencia. **Revista**

Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, v.8 (3), 255-268, 2011.

MARÍN, N. Constructus to describe individual knowledge/Constructus para describir el conocimiento individual. **Estudios de Psicología: Studies in Psychology**, v.35 (1), 29-57, 2014.

Disponível em: <http://www.tandfonline.com/loi/redp20>

MARTÍNEZ, O. J. M. Algunas Reflexiones sobre Las Concepciones Alternativas y el Cambio Conceptual. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.17 (1), p. 93-107, 1999.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes. 1982.

MOREIRA, A. M. A. Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**. Instituto de Física, UFRGS. v.7, nº1, pp. 7-29, 2002.

Disponível: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/capa.htm>

MOREIRA, M. A.; GRECA, L. M. Cambio Conceptual: Análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. **Ciência & Educação**. V. 9, n.2, p. 301-315, 2003.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 383p, 2000.

OYEHAUG, A. B.; HOLT, A. Students' understanding of the nature of matter and chemical reactions – a longitudinal study of conceptual restructuring. **Chemistry Education Research and Practice**, v.14, 450 -467, 2013.

ONTORIA, A.; BALLESTEROS, A.; CUEVAS, C.; GIRALDO, L.; GÓMEZ, J.; MARTÍN, I.; MOLINA, A.; RODRIGUEZ, A.; VÉLEZ, U. **Mapas Conceituais: Uma Técnica para Aprender**. Lisboa: Edições Asa, p. 7-25, 1994.

PAIS, L. C. Formação de Conceitos nos Campos Conceituais. In: **Didática da Matemática: Uma análise da influência francesa**. Belo Horizonte: Autêntica, p. 51-63, 2011.

PÉREZ, G. D. Contribución de La Historia y de La Filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de Enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de Las Ciencias**, 11 (2), p. 197-212, 1993.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, v. 66 (2), p. 211-22, 1982.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de Ciências: Do conhecimento Cotidiano ao conhecimento Científico**. Porto Alegre, RS: ARTEMED Editora, 5ª edição, 296p, 2009.

POZO, J. I., CRESPO, M. A. G., LIMON, M.; SERRANO, S. A. Procesos cognitivos en la Comprensión de la Ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química. **Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, CIDE-MEC.** p. 10-159, p. 64-218, 1991.

POZO, J. I., CRESPO, M. A. G. Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. **Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa**, v. (26), p.117-139, 2000.

PINTRICH, P. R.; MARX, R. W.; BOYLE, R. A. Beyond Cold Conceptual Change: The role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. **Review of Educational Research**, V. 63, nº. 2, p.167-199, 1993

RODRIGO, M. J.; CORREA, N. Representação e Processos Cognitivos: Esquemas e Modelos Mentais. IN: COLL; C.; MARCHESI, A.; PALACIOS, J (ORG.). **Desenvolvimento Psicológico e Educação - Psicologia da Educação Escolar.** ARTMED- Rio Grande do Sul, 2 edição, p. 81 – 93, 2004.

ROMPAYOM. P.; TAMBUNCHONG, C.; WONGYOUNOI, S.; DECHSRI, P. Using Open- Ended Questions to Diagnose Students' Understanding of Inter - and Intramolecular Forces. **US - China Education Review**, v (1), p.12-23, 2011.

ROSA, M. V. F. P. C.; ARNOLDI, M. A. G. C. **A Entrevista na Pesquisa Qualitativa- Mecanismos para validação dos resultados.** Belo Horizonte: Autêntica, 2006.

ROSA, M. I. F. P. S.; SCHNETZLER, R. P. Sobre a importância do conceito de transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, nº 8, p. 31-35, Nov. 1998.

SCHNETZLER, R. P. Construção do conhecimento e ensino de ciências. Em Aberto, Brasília, ano 11, nº 55, jul/set. 1992

STRIKE, K. A.; POSNER, G. J. *A revisionist Theory of Conceptual Change.* In: Duschl, R. and Hamilton, R. (Eds.), **Philosophy of Science Cognitive psychology and educational theory and practice**, p. 147-176, 1992.

SIEGLER, R. S. The Rebirth of Children's Learning. **Child Development**, v. (71), nº1, p.26-35, 2000.

SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. S.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizadas no ensino de modelos atômicos de Thomson e Bohr: Uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. **Investigações no Ensino de Ciências**, v (11), nº (1), p.7-28, 2006.

TALANQUER, V. On Cognitive Constraints and Learning Progressions: The case of “structure of matter”. **International Journal of Science Education.** v. 4(15), p.2123-2136, 2009.

TREAGUST, D. F.; CHANDRASEGARAN, A. L.; CROWLEY, J.; YUNG, B. H. W.; IRENE, P.; CHEONG, A.; OTHMAN, J. Evaluating students' understanding of kinetic particle theory concepts relating to the states of matter, changes of state and diffusion: A cross-national study. **International Journal of Science and Mathematics Education**. v.8, p. 141-164, 2009.

TREAGUST, D. F.; HARRISON, A.; G. Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. **Science Education**, v.80 (5), p. 509-534, 1996.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Education**, v. 1(2), p.205-221, 1979.

VERGNAUD, G. La Teoria De Los Campos Conceptuales. **Recherches en Didáctique des Mathématiques**, v. 10 (2, 3), p. 133-170, 1990.

WHEATHLEY, G. H. Constructivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. **Science Education**, v. 75 (1), p. 9-21, 1991.

APÊNDICE A - AUTORIZAÇÃO

Eu, _____ responsável
pelo aluno(a) _____, da () 1ª, () 2ª
ou () 3ª ano do Ensino Médio da escola
_____, autorizo a professora Miriam Possar
do Carmo, pesquisadora da Universidade de São Paulo a utilizar as gravações
em áudio e vídeo das aulas de química observadas nesta instituição com a
finalidade de coletar dados para sua pesquisa de doutorado no Ensino de
Química, vinculada à Universidade de São Paulo. É importante esclarecer que
as gravações são para uso exclusivo da pesquisa e não foram divulgadas ou
empregadas para outros fins. Não foi utilizada nenhuma imagem, apenas houve
análise das falas dos alunos sem identificação de nomes.

Local e data

Assinatura da professora Assinatura do responsável

APÊDICE B - INSTRUMENTO 1 (PRÉ-TESTE)

1- (renumerada 1) Para explicarem a constituição da matéria, os cientistas elaboraram uma teoria de que esta é formada por partículas denominadas átomos.

Justifique por que você acredita ou não nessa teoria.

2- (renumerada 2) Os desenhos procuram representar o átomo. Assinale aquele que em sua opinião melhor representa o átomo que se conhece hoje, dando nome às partes “indicadas” no desenho.

Se em sua opinião existir outro modelo que melhor represente o átomo, desenhe-o e indique suas partes. (Você pode usar o verso desta folha para desenhar o seu modelo)

3- (renumerada 11) Uma garrafa de plástico cheia de água foi esquecida dentro do congelador. No dia seguinte, quando a garrafa foi retirada, observou-se que a garrafa “arrebentou” devido ao aumento do volume causado pela mudança de estado físico do líquido para o sólido. Utilizando seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria, explique: “O aumento do volume quando a água solidifica”.

4- (renumerada 12) Um aluno pingou uma gota de água e uma gota de álcool separadamente na palma da mão e observou que a gota de álcool evaporou em um tempo menor. Sabe-se que, em uma mesma temperatura, o álcool é mais volátil que água e apresenta uma temperatura de ebulição menor que a água, por isso apresentou esse comportamento. Como você explica a maior volatilidade do álcool utilizando seus conhecimentos sobre átomos, moléculas (Estrutura da matéria).

5- (renumerada 6) Em uma aula de química é possível ouvir a frase: Um átomo pode perder elétrons.

A seguir são apresentadas algumas situações. Assinale uma ou mais situações em que a frase pode ser aplicada.

- a) ☐ Derretimento das geleiras
- b) ☐ Portão de ferro corroído (ferrugem)
- c) ☐ Encher uma bola de futebol
- d) ☐ formação de raios na atmosfera
- e) ☐ “papeizinhos picados” atraídos por uma caneta quando atritada.

Escolha uma das situações que assinalou e explique como você relacionou com a frase: “um átomo pode perder elétrons”

6- (renumerada 7) Uma “correntinha” de prata com o tempo escurece. Como você explicaria a seu professor de química, utilizando seus conhecimentos em nível sub microscópico, envolvendo a ideia de partículas, o que aconteceu com os átomos que compõem a “correntinha”?

7- (renumerada 5) Qual é a melhor descrição para o núcleo atômico:

- a) ☐ Um grupo de elétrons, prótons e nêutrons juntos.
- b) ☐ Um grupo de elétrons e prótons juntos.
- c) ☐ Um grupo de elétrons e prótons se movendo ao redor de um centro de nêutrons.
- d) ☐ Um grupo de prótons e nêutrons juntos.
- e) ☐ Prótons se movendo ao redor de um centro de nêutrons.

8- (renumerada 3) Utilizando as explicações A, B, C, D, assinale na frente de cada situação 1, 2, 3, a explicação que julgar mais coerente para responder a seguinte questão:

Ao observar algumas situações no seu dia a dia, um estudante se perguntou o que existe entre as partículas que compõem os materiais que estão sublinhados:

Explicações

- A. Não há espaços entre as partículas. Estas estão muito juntas umas às outras e não pode haver nada.
- B. Há um espaço livre entre as partículas e neste não há nada.
- C. Existem mais partículas do mesmo material.
- D. Existe ar que preenche os espaços livres entre as partículas.

Situações

1- Uma jarra repleta de água gelada.

A ☐ B ☐ C ☐ D ☐

2- Uma criança carregando um balão colorido contendo gás hélio.

A ☐ B ☐ C ☐ D ☐

3- Um pedaço de fio de cobre, utilizado nos fios elétricos.

A ☐ B ☐ C ☐ D ☐

9- (renumerada 4) Utilizando as explicações A, B, C, D, assinale na frente de cada situação 1, 2, 3, a explicação que julgar mais coerente para responder a seguinte questão:

Ao observar algumas situações no seu dia a dia, um estudante questionou sobre a existência ou não de movimento entre as partículas que compõem os materiais que estão sublinhados.

Explicações

- A. As partículas estão sempre paradas, imóveis;

- B. As partículas somente se movem se agitarmos o material;
 C. As partículas do material estão sempre se movimentando;
 D. As partículas se movem somente se ocorrer bolhas de ar que as empurre.

E. Situações

1- Uma jarra repleta de água gelada.

A () B () C () D ()

2- Uma criança carregando um balão colorido contendo gás hélio.

A () B () C () D ()

3- Um pedaço de fio de cobre, utilizado nos fios elétricos.

A () B () C () D ()

10- (renumerada 8) Na figura observam-se dois sistemas, I e II:

No sistema I, a lâmpada acendeu, pois houve condução de corrente elétrica. Como você explica este fato utilizando seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria (átomos, moléculas, íons, etc.).

11- (renumerada 9e cancelada). A água oxigenada, utilizada para desinfetar ferimentos, também pode ser empregada para descolorir pelos e cabelos. Você deve ter percebido que normalmente a água oxigenada é mantida em frascos de plástico opacos que devem ser guardados em locais frescos e ao abrigo da luz para retardar a sua decomposição. Suponha que a água oxigenada foi submetida ao calor ou à presença de luz. O desprendimento do gás será:

Água oxigenada → gás oxigênio + água

- a) () maior
 b) () menor
 c) () igual quando armazenada em local fresco e ao abrigo da luz

Justifique sua escolha usando seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria (átomos, moléculas, partículas, etc.). **(Questão anulada para análise)**

12- (renumerada 10) Álcool etílico é um combustível utilizado em automóveis e produz gás carbônico e água no processo de queima.

Álcool etílico + gás oxigênio → gás carbônico + água

Para explicar o que acontece com as partículas dos reagentes, foram propostas as seguintes

ideias. Assinale aquela, se houver que você considera uma explicação adequada.

() Ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e as substâncias modificam a aparência, mas continuam as mesmas.

() Ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e formação de novas substâncias.

() As substâncias iniciais apenas evaporam sem alterar as ligações entre os átomos.

APÊNDICE C - Explicações dos Alunos ao Pré-teste (dados brutos)

Quadro 57 - Explicação dos estudantes à questão 1 (91 alunos): Crença de a matéria ser constituída por átomos.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)	TOTAL (91 alunos)
Explicações que não dão sentido a pergunta	-	2	2	4
Acreditam, pois os átomos estão: nas coisas, no corpo, partículas, em algo, etc.	4	1	2	9
Acreditam, mas explicações com presença de concepções alternativas: o núcleo forma o átomo, a matéria forma o átomo, etc.	1	-	1	3
É possível ver o átomo ao microscópico.	-	2	1	3
Matéria constituída por átomo, junção de átomos. Átomo como a menor parte da matéria.	11	9	10	30
Sem átomos não há moléculas, substâncias.	-	1	2	3
Respostas genéricas: atributo a crença da teoria a estudos de cientistas ou estudos escolares.	5	8	8	18
Não acreditam	5	3	2	10
Em branco, não respondem.	6	1	4	11

Quadro 58 - Explicação dos estudantes à questão 2 (91 alunos): Reconhecimento do núcleo, eletrosfera e elétron.

TURMA	ESCOLHA DE UM MODELO DE ÁTOMO				RECONHECIMENTO DAS PARTES DO ÁTOMO (NÚCLEO E ELETROSFERA)					RECONHECIMENTO DO ELÉTRON			
	A (RUTHERFORD)	B (THOMPSON)	C (BOHR)	NÃO ESCOLHE	NÚCLEO (CORRETO)	NÚCLEO (INCORRETO)	NENHUM	ELETROSFERA (CORRETO)	ELETROSFERA (INCORRETO)	NENHUM	CORRETO	INCORRETO	NÃO RECONHECE
1ª série 32 alunos	23	1	1	7	10	8	14	0	13	19	5	10	17
2ª série 27 alunos	21	0	5	1	12	11	4	2	15	10	5	16	6
3ª série 32 alunos	25	0	4	3	21	8	3	5	19	8	15	13	4
TOTAL DE 91 ALUNOS	69	1	10	12	43	27	21	7	47	37	25	39	27

Quadro 59 - Explicação dos estudantes à questão 3 (91 alunos): Ideias sobre a existência de espaços vazios entre as partículas de uma substância.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)			2ª SÉRIE (27 alunos)			3ª SÉRIE (32 alunos)		
	ÁGUA	GÁS HÉLIO	COBRE	ÁGUA	GÁS HÉLIO	COBRE	ÁGUA	GÁS HÉLIO	COBRE
A Não há espaços entre as partículas. Estas estão muito juntas umas das outras e não pode haver nada.	15	3	7	16	2	5	16	4	11
B Há um espaço livre entre as partículas e neste não há nada.	6	3	5	2	2	7	8	5	4
C Existem mais partículas do mesmo material.	4	3	14	5	6	7	5	3	13
D Existe ar que preenche os espaços livres entre as partículas.	2	18	1	2	15	6	3	20	4
E Não responde ou não responde como solicitado		5		2					

Quadro 60 - Explicação dos estudantes para a questão 4 (91 alunos): Ideias sobre a existência de movimento entre as partículas constituintes das substâncias.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)			2ª SÉRIE (27 alunos)			3ª SÉRIE (32 alunos)		
	ÁGUA	GÁS HÉLIO	COBRE	ÁGUA	GÁS HÉLIO	COBRE	ÁGUA	GÁS HÉLIO	COBRE
A As partículas estão sempre paradas, imóveis	6	7	13	4	2	7	8	1	12
B As partículas somente se movem se o material é agitado	17	2	2	11	5	6	16	4	7
C As partículas do material estão sempre se movimentando	1	14	9	7	12	10	7	12	9
D As partículas se movem somente se ocorrer bolhas de ar que as empurre	4	5	4	4	7	3	1	15	4
E Não responde ou não responde como solicitado		4		1			-		

Quadro 61 - Escolha pelos estudantes (91 alunos) de uma situação que justifique a frase: "Um átomo pode perder elétrons".

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)
A O derretimento das geleiras	8	9	13
B Portão de ferro corroído (ferrugem)	15	15	11
C Encher uma bola de futebol	1	3	11
D Formação de raios na atmosfera	10	9	10
E <i>"Papeizinhos picados atraídos por uma caneta quando atritada"</i>	12	12	23
F Não há escolhas	17	6	6

Quadro 62 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica a condução de corrente elétrica, considerando os sistemas: água e sal e água com açúcar.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)	TOTAL (91 alunos)
Explicações genéricas associadas ao equipamento ou ao fato de a lâmpada acender, sem uma explicação mais elaborada sobre o fenômeno, por exemplo: devido ao gerador, aos fios, ao interruptor, as ligações do circuito etc.	8	2	1	11
Explicações relacionadas com a ideia de que é produzida energia, mas não há uma especificação de como esta é produzida.	3	2	2	7
Explicações relacionadas à presença do sal em água, como responsável pela lâmpada acender, com argumentos: produzem energia, são condutores, geram corrente elétrica, etc.	6	8	8	22
Explicações relacionadas ao sal como o protagonista de a lâmpada acender, com argumentos: é condutor e denso. É natural, é solúvel e é um reagente químico, etc.	1	2	12	15
Explicações relacionadas à ação do açúcar, como protagonista de a lâmpada acender.	0	0	2	2
Explicações em nível submicroscópico, mas com ideias alternativas em relação ao fenômeno e não o explicam adequadamente.	2	5	4	11
Explicações em nível submicroscópico com concepções alternativas, mas com modelo em construção, sobre o fato de a lâmpada acender no sistema água e sal.	1	1	1	3
Não respondem ou não sabem.	11	7	2	20

Quadro 63 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Ideias sobre o que acontece com os átomos de prata quando uma correntinha de prata escurece.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)	TOTAL (91 alunos)
Explicações considerando que a correntinha "enferruja" Devido: tempo, ar, unidade, outras substâncias não ter cuidados, etc.	7	4	-	11
Explicações relacionadas com a ideia de: desgaste, decomposição e envelhecimento, escurecimento.	8	7	9	24
Explicações relacionadas à ocorrência de uma transformação química.	1	0	4	4
Explicações envolvendo ideias animistas, tais como: morte, envelhecimento, diminuição, desgaste, decomposição.	2	8	6	18
Explicações envolvendo ideias de que o átomo enferruja.	2	2	1	5
Explicações envolvendo ideias substancialistas em relação ao átomo de prata: fica escuro, perde brilho, evapora, tem impureza.	3	0	2	5
Ideias alternativas em relação aos elétrons do átomo de prata: envelhecimento falta de movimentação.	0	0	3	3
Explicações coerentes: perda de elétrons do átomo de prata.	3	4	2	9
Não Respondeu a questão.	6	2	5	12

Quadro 64 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica o que ocorre com as partículas dos reagentes em uma transformação química.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)	TOTAL (91 alunos)
A Ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e estas desaparecem	4	1	4	9
B Ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e as substâncias modificam a aparência, mas continuam as mesmas.	7	2	11	20
C Ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e formação de novas substâncias.	15	17	11	43
D As substâncias iniciais apenas evaporam sem alterar as ligações entre os átomos	5	7	4	16
E Não responderam/ em branco	1	0	2	3

Quadro 65 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica o aumento de volume da água quando ocorre a solidificação.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)	TOTAL (91 alunos)
Explicações relacionadas ao aumento de volume devido à mudança de estado físico da água de líquida para sólido (formação de gelo)	12	6	6	24
Explicações relacionadas ao aumento de volume devido à mudança de estado físico da água líquida para sólida mas com presença de concepções macro/alternativas do tipo: endurecimento, formação de "pedra", água "inchar", ocorrer dilatação.	1	5	3	9
Aumento de volume relacionado à garrafa: Ao material da garrafa, não suportar o frio, ocorrer choques térmicos,	3	2	0	5
Aumento de volume relacionado à expulsão de "ar", "oxigênio", que estava na água e fez a garrafa expandir".	8	1	1	10
Aumento de volume devido à formação de: massa, aumento de peso, proporção, conteúdo da garrafa.	2	0	5	7
Aumento de volume relacionado a outros fatores, tais como: formação de corpo sólido, velocidade da mudança de estado físico, densidade, aumento pressão, temperatura.	1	3	8	12
Explicações em nível submicroscópico alternativas, relacionadas ao aumento de volume devido: expansão das partículas, união das partículas, aumento das partículas, moléculas, multiplicação de moléculas, congelamento das moléculas, separação de átomos, movimentação de elétrons.	0	8	6	14
Explicações em nível submicroscópico relacionadas a ideias de ligações entre partículas, junção, etc.	1	1	2	4
Não responderam	4	1	1	6

Quadro 66 - Explicação dos estudantes (91 alunos): Como o aluno explica a maior volatilidade do álcool em relação à da água, quando ambos são colocados na palma da mão.

EXPLICAÇÃO	1ª SÉRIE (32 alunos)	2ª SÉRIE (27 alunos)	3ª SÉRIE (32 alunos)	TOTAL (91 alunos)
Explicações relacionadas à composição da substância, com explicações macro/alternativas do tipo: - Presença ou não de química: elementos /substâncias /materiais/ compostos que tornam o álcool mais volátil; - álcool mais líquido que a água; - água substância pura e álcool substância composta; - álcool ter mais substâncias do que a água; - álcool substância mais forte.	7	12	11	30
Explicações associadas a propriedades físicas: álcool com maior ou menor densidade; apresentar maior ou menor temperatura de ebulição, ser mais ou menos solúvel que a água.	14	9	10	33
Explicações relacionadas ao clima, tempo e superfície de contato.	1	0	2	3
Explicações submicroscópica alternativas do tipo: Menor presença de oxigênio no álcool; menor quantidade de hidrogênios; perda de elétrons pelos átomos do álcool; maior quantidade de moléculas no álcool.	2	1	3	6
Explicações em nível submicroscópico relacionadas à: estrutura molecular do álcool, forças das ligações presentes entre moléculas.	0	1	1	2
Não responderam	8	4	5	17

**APÊNDICE D - CATEGORIZAÇÃO DAS EXPLICAÇÕES DOS
ALUNOS NOS NÍVEIS DE COMPREENSÃO**

Quadro 67 - Instrumento para categorizar as explicações dos alunos em níveis de compreensão - 1ª dimensão de análise

1ª DIMENSÃO: NATUREZA DA MATÉRIA		EXEMPLOS E SÍNTESE DAS EXPLICAÇÕES DOS ALUNOS PARA CADA CONCEITO ANALISADO NA DIMENSÃO	TOTAL DE ALUNOS COM EXPLICAÇÕES EM NÍVEL DE COMPREENSÃO		
NÍVEL DE COMPREENSÃO	NÍVEL DE ADEQUAÇÃO		1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE
Nível 1,0 Insuficiente compreensão	Nível Inadequado 1,0	Explicações genéricas sobre a constituição da matéria. <i>"Eu acredito que é certo porque eu já estudei sobre isso."</i> <i>"Sim, porque toda matéria precisa ser formada de alguma coisa."</i>	4	9	11
		Ausência de ideia de átomo. <i>"Não acredita, pois há outras maneiras de explicarem a constituição da matéria."</i> <i>"Ah! Eu não acredito porque eu não acho que já tenha atingido este nível."</i>	5	3	2
		Ausência de um modelo representativo para o átomo.	8	1	3
		Não reconhece as partes e ou partículas do átomo, mesmo na presença de um modelo representativo.	13	1	3
		Ausência de explicações sobre a existência de espaços vazios.	5	2	-
		Ausência de explicações sobre movimento entre as partículas.	4	1	-
		Não respondeu.	6	1	4
Nível 2,0 Vaga compreensão	Nível Inadequado 1,0	Ausência de um modelo de átomo aceito cientificamente	0	3	2
		Indica o núcleo do átomo de forma incorreta e o descreve com incoerência <i>"O núcleo atômico é formado por um grupo de elétrons, prótons e nêutrons.";</i> <i>"O núcleo atômico é um grupo de elétrons e prótons juntos."</i>	7	10	8
		Indica incorretamente elétron e eletrosfera.	11	14	11
		Não indica elétron e eletrosfera.	3	4	1
		Considerou-se como inadequada a ideia do vazio, quando o aluno faz opção por três situações todas incorretas: <i>"Não há espaços entre as partículas. Estas estão muito juntas umas das outras e não pode haver nada"</i> .	26	25	31
		Considera-se como inadequada a ideia do movimento, quando o aluno faz opção por três situações todas incorretas, ou ainda, duas erradas e uma correta: <i>"As partículas somente se movem se agitarmos o material."</i>	24	21	27

(Conclusão)

Nível 3,0 Alguma compreensão	Nível Inadequado 2,0	Presença de ideias sobre a matéria formada por átomos, com erros conceituais, há indícios de um modelo em construção. <i>"Acredita, pois toda partícula tem átomo."</i>	4	2	3
		Escolha de um modelo explicativo para o átomo, com erro na identificação de partes. <i>"Chama o núcleo de partículas, próton, centro, plasma. "</i>	24	25	26
		Indica corretamente o núcleo, porém não o descreve corretamente.	9	12	16
		Indica incorretamente o núcleo, mas o descreve corretamente.	1	3	-
		Indica corretamente apenas o elétron, mas não a eletrosfera	5	4	12
		Indica corretamente apenas a eletrosfera, mas não o elétron.	-	3	2
		Apresenta ideia de vazio entre as partículas.	1	-	1
		Apresenta ideia de movimento das partículas.	4	4	5
Nível 4,0 Boa compreensão	Nível Parcialmente Adequado 3,0	O aluno reconhece o átomo como um modelo para justificar a Natureza da Matéria. <i>"Acredita, pois toda a matéria é feita ou composta por algo, que são os átomos. "</i> <i>"Sim, os átomos são partículas que dão formação para todas as coisas. "</i>	13	9	10
		Escolha de um modelo representativo para o átomo e indicação de suas partes adequadamente.	-	1	3
		Indica corretamente o núcleo <i>"O núcleo atômico como um grupo de prótons e nêutrons juntos."</i>	2	1	5
		Indica corretamente a eletrosfera e do elétron.	-	1	3
		Apresenta ideia de movimento entre as partículas. <i>"As partículas do material estão sempre em movimento."</i>	-	1	-

Quadro 68 - Instrumento para categorizar as explicações dos alunos em níveis de compreensão- 2ª dimensão de análise

2ª DIMENSÃO: NATUREZA ELÉTRICA DA MATÉRIA		EXEMPLOS E SÍNTESE DAS EXPLICAÇÕES DOS ALUNOS PARA CADA CONCEITO ANALISADO NA DIMENSÃO	TOTAL DE ALUNOS COM EXPLICAÇÕES EM NÍVEL DE COMPREENSÃO		
NÍVEL DE COMPREENSÃO	NÍVEL DE ADEQUAÇÃO		1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE
Nível 1,0 Insuficiente compreensão	Nível Inadequado 1,0	Indica uma ou duas situações corretas, forneceu explicações ao nível atômico molecular com presença de concepções alternativas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre o fato de o átomo perder elétrons: “Porque quando uma coisa enferruja, o átomo da ferrugem perde seus elétrons. ”; “O portão de ferro perde elétrons conforme fica mais velho	3	7	7
		Indica uma ou duas situações corretas para perda de elétrons e não forneceu nenhuma explicação.	13	6	4
		Não indica nenhuma situação para a perda de elétrons e não forneceu nenhuma explicação.	4	-	1
		Não explica a perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica	5 / 11	2 / 5	5 / 2
Nível 1,5 Insuficiente compreensão		Fornece explicação sem sentido para perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica, pois a resposta ficou sem sentido: “Pois os átomos que formam a matéria funcionam de forma com o sistema utilizado.”	0	0/1	0
		Indica uma ou duas situações para perda de elétrons e forneceu explicações com base nos aspectos observáveis com equívocos. “Os raios se desfazem na terra quando chove	1	4	0
Nível 2,0 Vaga compreensão		Fornece uma explicação, com base nos aspectos observáveis, mas não apresentou nenhum argumento significativo, para a perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica: “A tinta da corrente, por ficar molhada e depois secar, vai perdendo o brilho, como também com a poeira do dia a dia”.	0/5	0/4	0/2
		Indica uma ou duas situações corretas para a perda de elétrons e, forneceu explicações ao nível atômico molecular com presença de concepções alternativas, não denotando a elaboração de um modelo em construção. “A geleira derretendo perde a concentração de elétrons que tinha.”; “Quando a caneta é atirada os elétrons se juntam com os prótons e eles se atraem. O portão de ferro é um exemplo de elétron”.	3	7	7
		Explica a situação sobre a perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica (questão 8) ao nível atômico molecular, no entanto, em suas explicações ocorreu a presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção. “Os átomos foram envelhecendo e os átomos não foram substituídos.”; “A correntinha vai desbotando, e com isso, levando seus átomos compostos embora.”; “Os átomos diminuem conforme o tempo e deixa a correntinha escura.”	12/3	7/4	9/4
Nível 2,5 Vaga compreensão	Nível Inadequado 1,0	Indica uma ou duas situações corretas para a perda de elétrons e fornece explicações ao nível macroscópico. Nas explicações dos alunos ocorreram a presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre a natureza elétrica da matéria: “O ferro vai perdendo sua pele.”; “O ferro vai desgastando e ficando velho.”; “O papel picado vai se desfazendo.”; “A matéria que compõem o portão enfraquece.”; “O portão fica podre e se desmancha em pedaço, como um ferro enferrujado.”	1	3	0

(Conclusão)

		Explica a perda de elétrons (correntinha) / a condutibilidade elétrica com explicações em nível macroscópico. As explicações ocorreram com presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre a natureza elétrica da matéria: "A correntinha está enferrujando, devido não ter cuidados."; "A correntinha com o tempo vai se desgastando."; "Com o tempo ela vai desgastando, porque entra em contato com água, suor etc.".	11/6	12/7	9/13
Nível 3,0 Alguma compreensão	Nível Parcialmente Adequado 2,0	Escolha de uma ou duas situações corretas para a perda de elétrons. No entanto, forneceu explicações ao nível atômico molecular com presença de erros conceituais e até mesmo o uso informal da linguagem química, mas no conjunto de seu modelo explicativo foi possível perceber a elaboração de um modelo em construção: "O portão enferruja no início começa a ficar com buracos, assim perdendo os elétrons."; "Formação de raios na atmosfera me lembra de eletricidade: isso forma eletricidade e elétrons me lembra de eletricidade	2	4	6
		Explica a situação sobre perda de elétrons / condutibilidade elétrica com a presença de argumentos ao nível atômico molecular. No entanto, em suas explicações ocorreram erros de conceitos e uso informal da linguagem da química, mas as mesmas denotaram um modelo em construção: "A correntinha perde elétrons e faz com que ela envelheça (escureça)."; "O número de elétrons diminui o que faz com que a correntinha escureça."; "A corrente com o tempo vai perdendo átomos e acaba escurecendo".	1/1	2/1	6/2
Nível 3,5 Alguma compreensão	Nível Adequado 2,0	Escolha uma ou duas situações corretas para a perda de elétrons, no entanto, forneceu explicações ao nível macroscópico. Embora em suas explicações ocorressem erros conceituais e emprego de uma linguagem informal da química, se percebeu um modelo em construção para justificar a situação: "O portão de ferro com o tempo vai corroendo e não vai sobrar mais nada."; "Formação de raios na atmosfera, relacionou com a eletricidade."; "Com a formação de raios ocorrem descargas elétricas."; "A caneta quando atritada tem mais energia, assim atraindo os papezinhos picados quando colocados próximos.".	3	1	1
		Explica com base nos aspectos observáveis e mensuráveis sobre perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica. Embora em suas explicações ocorressem erros conceituais e emprego de uma linguagem informal da química, percebeu-se um modelo em construção para justificar a situação: "A prata vai perdendo suas propriedades químicas que dão brilho."; "A água com sal produz energia e a água com açúcar não".	0/4	0/5	1/5
Nível 4,0 Boa compreensão	Nível adequado 3,0	Escolha de uma ou duas situações corretas para a perda de elétrons e forneceu uma explicação coerente ao nível atômico molecular: "Porque quando o ferro perde elétrons ele enferruja."; "Pode perder elétrons devido a uma transformação química."; "Por causa de uma descarga de eletricidade ele perde elétrons".	1	2	11
		Explica ao nível atômico molecular com elaboração de um modelo explicativo coerente aos científicos para justificar perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica: "Os átomos da prata perdem elétrons e ela escurece."; "Os átomos perderam elétrons."; "Os átomos que constituem a "correntinha".	3	3	1
		Indica uma ou duas situações corretas para a perda de elétrons e não forneceu nenhuma explicação.	13	6	4
		Não indica nenhuma situação para a perda de elétrons e não forneceu nenhuma explicação.	4	-	1
		Não responde a questão sobre perda de elétrons (correntinha) / condutibilidade elétrica	5/11	2/5	5/2

Quadro 69 - Instrumento para categorizar as explicações dos alunos em níveis de compreensão- 3ª dimensão de análise

3ª DIMENSÃO: INTERAÇÕES INTRA E INTER PARTÍCULAS		EXEMPLOS E SÍNTESE DAS EXPLICAÇÕES DOS ALUNOS PARA CADA CONCEITO ANALISADO NA DIMENSÃO	TOTAL DE ALUNOS COM EXPLICAÇÕES EM NÍVEL DE COMPREENSÃO		
NÍVEL DE COMPREENSÃO	NÍVEL DE ADEQUAÇÃO		1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE
Nível 1,0 Insuficiente compreensão	Nível Inadequado 1,0	Ausência de indicação para explicar o que ocorreu com os reagentes e produtos em uma transformação química	1	0	2
		Escolha de uma alternativa com explicação inadequada para explicar o que ocorreu com os reagentes e produtos em uma transformação química.	16	10	19
		Ausência de explicação ao nível submicroscópico para explicar o aumento do volume da água na mudança de estado de líquido para sólido / a maior volatilidade do álcool em relação à da água. O aluno deixa a questão em branco.	4/8	1/4	1/5
Nível 1,5 Insuficiente compreensão		Fornecer uma explicação em nível macroscópico para explicar o aumento do volume da água na mudança de estado de líquido para sólido / e a maior volatilidade do álcool em relação à da água. Na sua explicação não fornece nenhuma informação significativa para justificar a pergunta, pois a resposta ficou genérica: "A água congela e pelo fato da garrafa ser de plástico explode, se a garrafa não fosse de plástico não tem como explodir."; "Porque a garrafa quando foi esquecida dentro do congelador ficou muito tempo e a garrafa de plástico não aguentou os graus dentro do congelador e acabou-se arrebentando.";	5/3	3/0	5/5
Nível 2,0 Vaga compreensão		Explicações com concepções ao nível atômico molecular sobre a interação entre as partículas do sistema: aumento de volume da água quando congela / volatilidade do álcool, concepções com ideias animistas e substancialistas e ideias relacionadas a quantidade de partículas na composição do material. "O álcool evapora mais rápido por causa da quantidade de moléculas". "O álcool evaporava mais rápido por causa da temperatura e das partículas que tem no álcool que faz ela evaporar mais rápido".	0/2	9/5	5/2
Nível 2,5 Vaga compreensão		Explicações em nível macroscópico alternativas, consideradas, vagas e inconsistentes que não dão conta de justificar o fenômeno, e envolveram mudanças de estados / propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, aspectos sobre sua composição do material, influência de fatores externos (clima, tempo, temperatura): "Quando a água passa de líquido para sólido o tamanho aumenta porque vira uma pedra dentro da garrafa.".	15/11	8/17	7/10

(Conclusão)

Nível 3,0 Alguma compreensão	Nível Parcialmente Adequado 2,0	Explicações em nível submicroscópico para explicar o aumento do volume da água quando congela e / a volatilidade do álcool em relação à da água. Nas explicações os alunos apresentaram erros conceituais e emprego informal da linguagem da química, no entanto, apareceram componentes que indicaram um modelo explicativo em construção, envolvendo ideias sobre: distanciamento e agrupamento de partículas, movimentação das partículas, aspectos envolvendo a quantidade de partículas: <i>"As partículas de água se juntam aumentando o seu volume."; "Quando a água congela está no estado sólido e as partículas estão mais unidas, é isso que aumenta o volume da água".</i>	2/0	0/0	2/1
Nível 3,5 Alguma compreensão		Explicações em nível macroscópico para explicar o aumento do volume da água quando congela e / a volatilidade do álcool em relação à da água. Nas explicações os alunos apresentaram erros conceituais e emprego informal da linguagem da química, no entanto, apareceram componentes que indicaram um modelo explicativo em construção, envolvendo ideias sobre: propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, mudança de estado físico, composição do material, fatores externos (clima, tempo e temperatura): <i>"Porque a temperatura de evaporação do álcool é menor do que a da água."; "A água, quando solidificada, caba expandindo e o material que compõe a garrafa é fraco e acaba arrebentando."; "Ocorreu uma expansão onde a água necessita de espaço para passar do estado líquido para o estado sólido (o volume) aumenta.";</i>	4/3	4/0	8/3
Nível 4,0 Boa compreensão	Nível adequado 3,0	Escolha de uma alternativa com explicação adequada para explicar o que ocorreu com os reagentes e produtos em uma transformação química. <i>"Ocorrem quebras de ligações entre os átomos das substâncias iniciais e formação de novas substâncias".</i>	15	17	11
Nível 4,5 Boa compreensão		Explicações em nível submicroscópico que envolvem a ideia de interações intermoleculares representativas de um modelo explicativo coerente com a visão científica, capazes de explicar o aumento do volume da água no estado sólido e/ da volatilidade do álcool em relação à água: <i>"O álcool é um combustível, composto quimicamente por carbono e hidrogênio principalmente. Embora a água também seja composta por hidrogênio (que em sua forma elementar pura é um dos materiais mais voláteis que se tem conhecimento), a ligação química entre hidrogênio e oxigênio numa molécula de água é muito mais perene e resistente que as ligações químicas a nível molecular do álcool, tornando a água bem menos volátil. Porém, sob temperaturas e circunstâncias extremas, a água pode tornar-se quase tão volátil quanto o álcool."</i>	0	0/1	0
Nível 4,5 Boa compreensão		Explicações em nível macroscópico. Presença de um modelo explicativo que é capaz de justificar a situação de maneira coerente sobre o aumento de volume da água quando congela / volatilidade do álcool em relação à da água. Explicações utilizando de ideias que envolvem: a solubilidade, densidade, volatilidade, mudança de estado físico. Composição do material: <i>"A partir do momento que está tendo a mudança de estado líquido para o sólido, há um volume maior quando a água está virando gelo. Por isso a garrafa arrebentou,".</i>	2/5	2/3	4/3

**APÊNDICE E - INSTRUMENTO DE VERIFICAÇÃO DAS IDEIAS
MAIS RECORRENTES DOS ALUNOS NAS DIMENSÕES DE
ANÁLISE**

Quadro 70 - Instrumento para verificar as ideias mais recorrentes dos alunos nas dimensões de análise.

- - explicações mais recorrentes (1º lugar);
 - explicações com media recorrência (2º lugar);
 - explicações com baixa recorrência (3º lugar);
 - explicações com baixíssima recorrência (4º lugar)

AGrupamento das Características das Explicações Apresentadas nos Modelos Explicativos dos Alunos conforme o Nível de Adequação e Compreensão para os Conceitos Explorados no Instrumento 1 (Pré-Teste)	Quantidade de Alunos com esse Tipo de Explicações			
	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	TOTAL DE ALUNOS
<u>CARACTERÍSTICAS DE EXPLICAÇÕES - TIPOA1:</u>				
Ausência de explicações, nível 1,0 de adequação e nível (1,0) de compreensão Ausência de explicações de caráter macroscópico ou sub microscópico.				
O aluno não concebe a ideia de a matéria ser formada por átomos.	11	4	6	21
O aluno não apresenta um modelo representativo para o átomo.	8	1	3	12
O aluno não apresenta ideias relacionadas à existência de vazio entre as partículas constituintes da matéria.	5	2	0	7
Não apresenta ideias relacionadas à existência de movimento entre as partículas constituintes da matéria.	4	1	0	5
O aluno não reconhece o núcleo e a eletrosfera, nem distingue entre as partículas que constituem o átomo, mesmo que olhe um modelo representativo do átomo (deixaram a questão totalmente em branco).	13	1	3	17
O aluno não indica nenhuma situação representativa sobre a perda de elétrons e não fornece nenhuma explicação.	4	0	1	5
O aluno não reconhece a perda de elétrons para o fenômeno: escurecimento de uma "correntinha" de prata, não fornece nenhuma explicação.	5	2	5	12
O aluno não reconhece a movimentação de elétrons em um fenômeno sobre a condutibilidade elétrica em uma solução aquosa, não fornece nenhuma explicação.	11	5	2	18
O aluno não compreende que em uma transformação química ocorrem quebras de ligações iniciais e formação de novas ligações.	1	0	2	3
O aluno não explica porque a água no estado sólido tem maior volume do que no estado líquido.	4	1	1	6
O aluno não explica porque o álcool é mais volátil do que água.	8	4	5	17

(Continua)

CARACTERÍSTICAS DE EXPLICAÇÕES - TIPOA2:	1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	TOTAL DE ALUNOS
Foram consideradas aqui, explicações inadequadas (nível 1,0) com <i>Insuficiente Compreensão</i> em nível submicroscópico (nível 1,0) ou macroscópico (nível 1,5). Presença de explicações em nível submicroscópico, macroscópico ou genéricas. Respostas sem argumentos significativos que justificassem os fenômenos. No entanto, o aluno tentou fornecer uma explicação.				
O aluno, não cita a palavra átomo, mas concebe a ideia de a matéria ser formada por estas partículas, devido ao estudo de cientistas ou pela sua experiência na aprendizagem escolar.	4	9	11	24
O aluno não apresenta ideias relacionadas à existência de vazio entre as partículas constituintes da matéria.	5	2	0	7
O aluno não apresenta ideias relacionadas à existência de movimento entre as partículas constituintes da matéria.	4	1	0	5
O aluno não reconhece, ou reconhece de forma incorreta um fenômeno associado a perda de elétrons fornecendo explicações ao nível submicroscópico, com a presença de concepções alternativas, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre o fato de o átomo perder elétrons.	2	0	2	4
O aluno indica uma ou duas situações corretas, indicativas da perda de elétrons, mas não fornece nenhuma explicação.	13	6	4	23
O aluno reconhece algumas situações corretas relacionadas ao fenômeno sobre a perda de elétrons, no entanto fornece explicações com base nos aspectos observáveis, não demonstrando entendimento do fenômeno.	1	4	0	5
O aluno fornece uma resposta sem sentido, na explicação de um fenômeno relacionado à movimentação de elétron: condutibilidade elétrica em uma solução aquosa.	0	1	0	1
- Explicações em nível submicroscópico - Explicações em nível macroscópico	5	2	4	11
O aluno faz a escolha de uma alternativa com explicação inadequada para explicar uma transformação química (questão 10 do Instrumento 1 (pré-teste)), que descreve um modelo submicroscópico alternativo, ou seja, presença de ideias vagas, pouco definidas.	16	10	19	45
Respostas sem sentido, com explicações em nível macroscópico sobre o fenômeno relacionado ao aumento do volume, na mudança de estado físico da água líquida para o estado sólido.	5	3	5	13
Respostas sem sentido, com explicações em nível macroscópico sobre o fenômeno relacionado a maior volatilidade do álcool em relação à da água	3	0	5	8
(Continua)				

Características de explicações- Tipo B -		1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	TOTAL DE ALUNOS
Explicações com inadequado nível de adequação (nível 1,0). Com <i>Vaga Compreensão</i> : em nível submicroscópico (nível 2,0) ou macroscópico (nível 2,5). Explicações com a presença de elementos sub microscópicos, macroscópicos e genéricos, mas que, os alunos apresentaram uma relação com o fenômeno, diferente de dar uma resposta que não ofereceu informações significativas.					
Os alunos concebem a ideia de a matéria ser formada por átomos, mas quando justificam este fato, ocorrem em seus argumentos erros conceituais e ideias alternativas com explicações incoerentes e confusas, distantes de um modelo aceito cientificamente.		0	3	2	5
O núcleo do átomo é indicado de forma incorreta. Usam alguns termos para indicar o núcleo, tais como: átomo, partícula, próton, molécula, nêutron, elétron. Descrevem o núcleo de forma incoerente, utilizando as frases, com predomínio da primeira frase.		7	10	8	25
Os alunos ao se referirem a eletrosfera a indicam incorretamente ou não a indicam. Entre os termos que utilizam nas indicações, a eletrosfera é denominada de: camada, corrente, conjunto, plasma, elétron, membrana, etc., e o elétron de: próton, nêutron, célula, átomo, etc.		19	22	24	65
Os alunos ao se referirem ao elétron o indicam incorretamente ou não o indicam. Entre os termos que utilizam nas indicações, o elétron é chamado de: próton, nêutron, célula, átomo, etc.		14	21	14	49
Os alunos não reconhecem a ideia da existência de espaços vazios entre as partículas e explicam da seguinte maneira		26	25	31	82
Os alunos não reconhecem que as partículas estão em constante movimentação e fornecem explicação submicroscópica alternativa.		24	21	27	72
O aluno reconhece uma ou duas situações corretas, relacionadas ao fenômeno: "perda de elétrons por um átomo" e fornece explicações, com presença de concepções alternativas, tanto ao nível sub microscópico, quanto explicações de caráter macroscópico, não denotando a elaboração de um modelo em construção sobre o fenômeno que envolve a perda de elétrons. Mas em suas explicações o aluno busca relacionar a explicação ao fenômeno, diferente de dar uma resposta que não oferece informações significativas.	Explicações em nível submicroscópico: - Situações proposta na questão 6	3	7	7	17
	- Correntinha de prata	12	7	9	28
	Explicações em nível macroscópico: - Situações propostas na questão 6	1	3	0	4
	- Correntinha de prata	11	12	9	32
(Continua)					

O aluno fornece uma explicação ao fenômeno condutibilidade elétrica em uma solução aquosa, relacionado à movimentação de elétron, no entanto, em suas explicações ocorrem a presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, não denotando a elaboração de um modelo em construção.	Explicações em nível submicroscópico:	3	4	9	16
	Explicações em nível macroscópico:	6	7	13	26
O aluno fornece explicações ao nível atômico molecular com presença de ideias animistas e substancialistas, bem como, ideias relacionadas à quantidade de partículas na composição do material para os fenômenos:	- Aumento do volume, na mudança de estado físico da água líquida para o estado sólido.	0	9	5	14
	- Maior volatilidade do álcool em relação à da água	2	2	5	9
O aluno fornece explicações em nível macroscópico com presença de concepções alternativas, vagas e inconsistentes, que envolvem ideias sobre: propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, aspectos sobre a composição das substâncias (álcool, água) e influência de fatores externos (clima, tempo, temperatura), relacionadas aos fenômenos:	- Aumento do volume, na mudança de estado físico da água líquida para o estado sólido.	15	8	7	30
	- Maior volatilidade do álcool em relação à da água	11	17	10	38
(Continua)					

Características de explicações- Tipo C-		1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	TOTAL DE ALUNOS
Explicações com parcial nível de adequação (nível 2,0). Com <i>Alguma Compreensão</i> em nível submicroscópico (nível 3,0) ou macroscópico (nível 3,5). Explicações com a presença de elementos sub microscópicos, macroscópicos e genéricos, com presença de uma base científica ou escolar, com um modelo explicativo em construção, ainda que não totalmente elaborado.					
Os alunos concebem a ideia de a matéria ser formada por átomos, mas quando justificam este fato, embora apareçam erros conceituais e/ou emprego informal da linguagem química, no conjunto da explicação é possível perceber um modelo em construção.		4	2	3	9
O aluno apresenta um modelo representativo para o átomo. Ocorreu um predomínio na escolha do modelo de Rutherford		24	25	26	75
O aluno identifica o núcleo de forma incorreta, mas o descreve com coerência ou, identifica corretamente, mas descrito com incoerência.		10	15	16	41
Indicação correta do elétron e não da eletrosfera		5	4	12	21
Indicação correta da eletrosfera e não do elétron		0	3	2	5
A ideia da existência de espaços vazios entre as partículas já é considerada pelos alunos, pois os mesmos conseguem escolher entre três das situações, envolvendo líquido, sólido e gás, duas nas quais consideram a existência de espaços vazios.		1	0	1	2
A ideia da existência de movimento entre as partículas já é considerada pelos alunos, pois os mesmos conseguem escolher entre três das situações, envolvendo líquido, sólido e gás, duas nas quais consideram que as partículas estão em constante movimentação.		4	4	5	13
O aluno faz escolha de uma ou duas situações corretas, relacionadas à "perda de elétrons". No entanto, fornece explicações com presença de erros conceituais e até mesmo o uso informal da linguagem química, mas no conjunto de seu modelo explicativo é possível perceber a elaboração de um modelo em construção para justificar a perda de elétrons pelo átomo.	Explicações em nível submicroscópico:	0	5	5	12
	- Situações proposta na questão 6				
	- Correntinha de prata	0	0	5	9
	Explicações em nível macroscópico:	5	0	0	5
	- Situações propostas na questão 6				
	- Correntinha de prata	0	0	1	1

(Continua)

<p>O aluno fornece uma explicação ao fenômeno condutibilidade elétrica em uma solução aquosa, relacionado à movimentação de elétron, no entanto, em suas explicações ocorrem presença de concepções alternativas, muitas vezes, animistas e substancialistas, mas é possível perceber nas explicações dos alunos um modelo em construção.</p> <p><i>Explicações em nível submicroscópico:</i></p> <p><i>Explicações em nível macroscópico:</i></p>	<div>2</div> <div>4</div>	<div>2</div> <div>7</div>	<div>2</div> <div>5</div>	<div>4</div> <div>16</div>
<p>O aluno fornece explicações ao nível atômico molecular, presença de concepções alternativas, mas com indícios de um modelo em construção. Explicações que envolvem ideias relacionadas ao distanciamento e agrupamento de partículas, movimentação das partículas e quantidade de partículas,</p> <p>- Aumento do volume, na mudança de estado físico da água líquida para o estado sólido.</p> <p>- Maior volatilidade do álcool em relação à da água</p>	<div>2</div> <div>0</div>	<div>0</div> <div>0</div>	<div>2</div> <div>2</div>	<div>4</div> <div>1</div>
<p>Explicações em nível macroscópico com presença de concepções alternativas, vagas e inconsistentes, relacionadas ao fenômeno, mas com indícios de um modelo em construção e que envolvem: propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, mudança de estado físico, aspectos sobre a composição das substâncias (álcool e água), influência de fatores externos (clima, tempo, temperatura).</p> <p>- Aumento do volume, na mudança de estado físico da água líquida para o estado sólido.</p> <p>- Maior volatilidade do álcool em relação à da água</p>	<div>4</div> <div>3</div>	<div>4</div> <div>0</div>	<div>8</div> <div>3</div>	<div>16</div> <div>6</div>
(Continua)				

CARACTERÍSTICAS DE EXPLICAÇÕES- TIPO D		1ª SÉRIE	2ª SÉRIE	3ª SÉRIE	TOTAL DE ALUNOS
Explicação com nível adequado (3,0) e Boa Compreensão em nível submicroscópico (nível 4,0) ou macroscópico (nível 4,5). Explicações com a presença de elementos sub microscópicos, macroscópicos e explicações genéricas. Concepções apresentando ideias relacionadas ao fenômeno. Com explicação coerente aos modelos científicos, que auxiliaram na racionalização dos fenômenos.					
Os alunos concebem a ideia de a matéria ser formada por átomos reconhecendo este como um modelo para justificar a Natureza da Matéria.		13	9	10	32
O aluno escolhe um modelo representativo para o átomo e indica suas partes adequadamente.		0	1	3	4
O aluno indica e descreve corretamente o núcleo do átomo.		2	1	5	8
O aluno reconhece o elétron e a eletrosfera de forma adequada.		0	1	3	4
A ideia da existência de espaços vazios é coerente nas explicações dos alunos.		0	0	0	0
A ideia da existência de movimentação entre as partículas é coerente nas explicações dos alunos.		0	1	0	1
O aluno faz escolha de uma ou duas situações corretas em relação ao fato de o átomo perder elétrons e fornece uma explicação coerente.	Explicações em nível submicroscópico:				
	- Situações proposta na questão 6	1	2	9	14
	- Correntinha de prata	3	3	1	7
	Explicações em nível macroscópico:				
	- Situações propostas na questão 6	2	0	0	2
	- Correntinha de prata	1	1	1	3

(Continua)

(Continuação)

O aluno fornece uma explicação ao fenômeno condutibilidade elétrica em uma solução aquosa, relacionado com a movimentação de elétron de forma coerente.		0	0	0	0
<i>Explicações em nível submicroscópico:</i>					
<i>Explicações em nível macroscópico:</i>		2	0	2	4
O aluno apresenta uma visão coerente sobre o que ocorre com as partículas do reagente em uma transformação química		15	17	11	43
Explicações ao nível submicroscópico que envolve a ideia de interações intermoleculares representativas de um modelo explicativo coerente, próxima a visão científica, capazes de explicar o fenômeno: volatilidade do álcool em relação a da água		0	0	1	1
Explicações com base na percepção do mundo real. Pensamento dominado pelo óbvio, com foco nos aspectos observáveis e mensuráveis. Presença de um modelo explicativo que é capaz de justificar a situação de maneira coerente sobre o aumento de volume da água quando congela e a maior volatilidade do álcool em relação à da água. Aparecem nas explicações ideias que envolvem propriedades do material, solubilidade, volatilidade, densidade, mudança de estado físico, aspectos sobre a composição das substâncias (álcool e água), influência de fatores externos (clima, tempo, temperatura).	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do volume, na mudança de estado físico da água líquida para o estado sólido. - Maior volatilidade do álcool em relação à da água 	2	2	4	8
		5	3	3	11

**APÊNDICE F - ENTREVISTAS REALIZADAS DURANTE O
ESTUDO LONGITUDINAL - DO 2º AO 4º PERÍODOS**

1º Período - 1ª Entrevista: junho de 2012

1- Considerando os conceitos que foram discutidos em sala de aula:

- a) Você recorda de algum (s) deles?
- b) Têm algum (s) que você considera mais importante? Por quê?
- c) Você utiliza alguns destes conceitos no seu dia a dia? Poderia citar alguns exemplos.

2-

- a) O que você entende quando escuta a frase, estrutura da matéria?
- b) Você já pensou como é possível conhecer e explicar os fatos e fenômenos conhecendo a estrutura da matéria?
- c) Você gostaria de saber como explicar o comportamento dos materiais pensando em moléculas ou átomos que os formam?
- d) Você poderia explicar algum fenômeno do seu dia a dia empregando estas ideias? Poderia exemplificar?

3-Apresentar ao aluno dois frascos contendo volumes iguais de água e adicionar separadamente em cada um deles: talco, areia, pouco sal.

Questionar:

- a) O que ele observa.
- b) Por que o talco e a areia não se dissolvem? Solicitar ao aluno que represente por meio de desenhos como ele imagina estes sistemas considerando ideias sobre a estrutura da matéria.
- c) Por que o sal se dissolve? Você poderia representar através de desenhos, modelos de como imagina o sistema considerando ideias sobre a estrutura da matéria?

4-Discutir com o aluno algumas questões, apresentando alguns sistemas materiais: água, sal, enxofre, sulfato de cobre.

- a) Estes materiais são, para você, naturais ou artificiais? Poderia citar outros exemplos de materiais naturais e artificiais?
- b) Ao comprimir estes sólidos com este bastão de vidro, o que você considera que ocorrerá em cada um dos tubos de ensaio? Por quê? O que você considera existir entre os próprios constituintes dos sólidos, depois que nós os comprimimos?
- c) O que significa para você, o material sofreu transformação? Como você pensa sobre isso utilizando ideias sobre a estrutura da matéria?

5- Colocar um "chumaço de palha de aço" em solução aquosa de sulfato de cobre (experimento demonstrado ao aluno) e questionar ideias sobre transformação química:

- a) O que você acha que acontece com a palha de aço quando imersa nessa solução?
- b) O experimento comprova suas ideias iniciais?
- c) O que aconteceu com o material (palha de aço - Fe) e com o sulfato de cobre considerando o estado inicial e final do sistema?

- d) Como você explicaria as diferentes colorações da solução de sulfato de ferro após a transformação? Você sabe o que confere a cor azul à solução? (Se o aluno não responder ajudá-lo, dizendo que é a presença dos íons Cu^{2+}).
- e) Pensando na estrutura da matéria (átomos e moléculas) como você própria uma explicação para este fenômeno?

6-

- a) Você percebe algo em comum entre os fenômenos: o amadurecimento de um fruto (laranja), a queima dos combustíveis, o enferrujamento do ferro, descoloração de cabelos pela água oxigenada, etc. O que você considera que acontece com as partículas dos materiais durante estes fenômenos?
- b) Você poderia exemplificar outros exemplos de fenômenos deste tipo?
- c) Ao dissolver sal de cozinha em água, tem-se um fenômeno semelhante a estes anteriores? Por quê? Você poderia exemplificar outros fenômenos deste tipo?

7-

- a) Todos os materiais podem ser transformados em outros?
- b) Como você explicaria se algo sofreu o não uma transformação?
- c) Sempre ocorrem evidências em uma transformação? O que são evidências para você?
- d) Você poderia explicar uma transformação química que apresente uma evidência e que faça parte de seu dia a dia?

8- Como você explica alguns fenômenos utilizando ideias sobre a estrutura da matéria:

- a) O odor de um perfume sentido por uma pessoa após um frasco aberto e a certa distância da pessoa?
- b) O ferro fundido retornar com o resfriamento ao estado sólido?
- c) O sal (cloreto de sódio) ser dissolvido em água?

2º Período - 2ª Entrevista: outubro de 2012

1- Suponha que em um sistema mistura-se, por exemplo: 6g de ácido clorídrico e 10g de hidróxido de sódio (Mostrar a equação da reação ao aluno) e estes reajam entre si. Então a massa do sistema inicial é de 16g e após a transformação, formaram estas substâncias: (mostrar a equação da reação) NaCl e H_2O , mas a massa do sistema continuou a mesma.

- a) Pensando na constituição das substâncias em nível das partículas, como você explicaria que a massa não mudou? As substâncias mudaram, mas a massa não mudou.
- b) Você poderia pensar em uma explicação? (Se o aluno não explicar usando ideias sobre a estrutura da matéria, lembrá-lo de que a matéria é constituída por átomos).

2- Na queima tanto do álcool quanto da gasolina, forma-se o gás carbônico.

- Você considera que o gás carbônico proveniente destas queimas apresenta a mesma composição?
- Em termos da estrutura da substância, é a mesma coisa? Explique sua suposição.
- Pensando na estrutura da matéria, você poderia representar o gás carbônico?

3- Pense: Se você tiver gás hidrogênio e gás oxigênio e misturar os dois, nada acontece. Mas se na presença de uma faísca, eles reagem e se forma água. Para representar esta transformação, posso escrever a equação (mostrar a equação da reação):

$$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$$

- Você poderia, dizer o que você entende quando escrevo essa equação?
- Como você entende isso que estou escrevendo? O que significa para você a representação $2\text{H}_2(\text{g})$?

4- Se você aquecer parafina, ela funde.

- É preciso menos calor para fundir a parafina do que para fundir um pedaço de metal como, por exemplo, estanho ou chumbo?
- Sabendo-se que, tanto a parafina quanto os metais, são formados por partículas. Como você explicaria o fato de ser necessário mais calor para a fusão da parafina do que a fusão dos metais?

5- Você já deve ter observado que quando o gás de cozinha escapa do botijão, seu cheiro se espalha por todo o ambiente.

- Como você explica este fato?
- Como você proporia uma explicação para explicar o que acontece com as partículas do gás, antes e depois de escapar do botijão? (Se o aluno não conseguir chegar a um modelo sub microscópico, tente ajudá-lo).
- Você poderia explicar, utilizando um modelo da estrutura da matéria, porque o gás espalha-se mais rapidamente num dia quente do que num dia frio?

6- Realizar para o aluno um teste sobre a condutibilidade elétrica, testando alguns materiais, como; ferro, latão alumínio, aço, aço pintado, borracha, porcelana, cobre. Questionando:

- Você pode fazer uma previsão de quais materiais conduzem a corrente elétrica?
- Como você explicaria essa sua previsão considerando a estrutura atômica da matéria? (O aluno teve que pensar. Precisa ver que conduz a corrente elétrica). Pense na estrutura da matéria, pense como um desses metais (Fe, Al) está formado em termos da estrutura da matéria.
- Como você explicaria que alguns materiais conduzem a corrente elétrica e outros não? Elabore um modelo que possa justificar a condução da corrente.
- Se você sabe que um material é isolante, este seu modelo serve para pensar por que o material é isolante?

- Quais destes materiais você utilizaria para manusear instalações elétricas? Justifique sua escolha.

7- A gente sabe que tem oxigênio dissolvido na água. Por exemplo, os peixes em um aquário, sobrevivem. O oxigênio é um gás. É possível dissolver certa quantidade de oxigênio na água. O gás fica ali, fica dissolvido, está no meio da água.

- Como que você imagina que o gás fica dissolvido na água e não vai embora? Como você imagina que ele fica retido no sistema?
- Pensando na estrutura da matéria, você poderia elaborar um modelo para explicar este fato?

(Se o aluno não conseguir ajudá-los a pensar que existe uma interação entre o oxigênio e a água. O aluno precisa pensar que existe algo que mantém o oxigênio no sistema). Em seguida, questione o aluno:

Você poderia explicar como o açúcar dissolve na água usando este modelo que você apresentou anteriormente?

8- Suponha uma garrafa com água mineral. No rótulo desta garrafa encontra-se os dizeres. Sódio 18mg/L, potássio 3,7mg/L (Mostrar o rótulo ao aluno).

- Como você acha que se encontra o sódio na água?
- Qual a diferença entre falar: átomo de potássio e íon potássio?
- Como você representaria um átomo de potássio e um íon potássio?
- Você acha que se medirmos a condutibilidade elétrica desta bebida ela vai conduzir a corrente elétrica? Por quê? Baseado no que você acha que vai conduzir a corrente elétrica? (Se o aluno responder por que tem íons, fazer a próxima pergunta).
- O que faz com que os íons conduzam a corrente elétrica?

3º Período - 3ª Entrevista: abril de 2013

1- Repensando em algumas questões das entrevistas anteriores, gostaria de perguntar:

- Qual sua crença sobre a existência de átomos? Qual o motivo que o leva a pensar na existência de átomos?
- Você poderia fazer um desenho representativo de como você imagina (modelo) o átomo?
- Você poderia explicar cada uma destas partes do seu desenho?

2- Olhando as coisas que nos cercam, percebe-se uma variedade de materiais na natureza. Por exemplo, este cristal (Mostre um pequeno cristal de quartzo ao aluno e questione).

- Você já parou para pensar do que são feitas as "coisas", tal como este cristal? Pensando em partículas, como você imagina a constituição deste pequeno cristal?
- Como você representaria o cristal, pensando nos átomos que o compõem?

- c) Como você imagina que estão dispostas essas partículas? O que você pensa existir entre estas partículas?
- d) Você considera que estas partículas estão paradas ou em movimento? O que o leva a pensar desta forma?
- e) Você pensa em outros materiais desta mesma forma? Poderia citar alguns exemplos?

3- Suponha uma garrafa com refrigerante. Sabe-se que na composição da mesma ocorre a presença de sódio.

- a) Como você acha que se encontra o sódio no refrigerante? (Se o aluno não citar ajudá-lo a pensar na existência de íon).
- b) Qual a diferença entre falar: átomo de sódio e íon sódio?
- c) Como você representaria um átomo de potássio e um íon potássio.

4- Realizar o teste da condutibilidade elétrica de uma solução aquosa de cloreto de sódio, do sal sólido (NaCl). Mostrar o sal ao aluno, questionar sua utilização.

- a) Como você pensa na constituição deste cristal do sal? Conforme a resposta do aluno, explorar a ideia de interações eletrostáticas.
- b) Como você pensa sobre o fato de a corrente elétrica ser conduzida na solução aquosa do sal e não na presença do sal sólido?
- c) Como você explicaria a formação da corrente elétrica neste sistema, utilizando ideias em nível submicroscópico sobre a Natureza da Matéria?

5- Realizar o experimento, misturando 10 ml de álcool (medindo na presença do aluno) com 10 ml de água. Questionar

- a) Ao misturarmos o álcool e a água o que você acha que vai ocorrer? Com as substâncias e com o volume do sistema?
- b) Porque você acha que o volume contraiu? Qual a ideia que você faz sobre este fato, pensando na estrutura da matéria?

6- Realize um experimento, colocando em uma placa de Petri água e dissolvendo cristais de nitrato de chumbo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) de um lado da placa de Petri, sem agitar. (Questione).

- a) O que você acha que está acontecendo com as partículas deste sal em contato com a água?
- b) Em seguida, adicione cristais de iodeto de potássio (KI) do outro lado da placa de Petri, sem agitar. (Deixar o aluno observar).
- c) O que você pensa que está acontecendo com as partículas deste sal em contato com a água?
- d) Você acha que as partículas se movimentam? Por que você pensa que elas estão se movimentando?
- e) O que você acha que ocorreu entre as partículas dos sais, inicialmente e após aparecer a linha amarela (sólido formado)

no centro da placa de Petri? Como você explica este fato?

- f) (Ao final explicar para o aluno os riscos da utilização de substâncias a base de chumbo e do descarte desses materiais)

7- Você já deve ter observado que se pode perceber o odor da gasolina mesmo a certa distância de um posto.

- a) Como você explica este fato?
- b) Você poderia explicar, utilizando um modelo da estrutura da matéria, porque o odor se espalha mais rapidamente num dia quente do que num dia frio?

4º Período - 4ª Entrevista: outubro de 2013

1- Apresente algumas frases para o aluno e peça para ele discutir aquela que julgar ser a que melhor define, no seu ponto de vista, a matéria:

- a) A matéria é contínua e não existem espaços vazios.
- b) A matéria é formada de partículas estáticas e não existe nada entre elas.
- c) A matéria é formada por partículas que se movimentam e não existe nada entre elas.
- d) A matéria é formada por partículas que se movimentam e existem mais partículas da substância entre elas.

2- Como você representa o átomo? Qual o seu modelo? Indique no seu desenho o que significa cada parte do mesmo? (Questionar o aluno se ele indicar núcleo e eletrosfera).

- a) O que existe nessas regiões? (Explorar a ideia de partículas: prótons, nêutrons e elétrons e o vazio).

3- Em uma aula de química, um estudante foi informado que o átomo de sódio apresentava 11 prótons, 12 nêutrons e 11 elétrons. Foi solicitado ao estudante que representasse o átomo de sódio e o íon sódio.

- a) Como você considera que o estudante tenha representado cada um deles? Questionar as representações, explorando ideias sobre a possibilidade de o átomo perder ou ganhar elétrons.

4- Mostrar as representações do cristal de cloreto de sódio e da molécula da água ao aluno. Depois questionar: Como ele imagina a dissolução do sal na água pensando sub microscopicamente, considerando os íons Na^+ e Cl^- ? Solicitar que ele desenhe como imagina essa dissolução e pedir para que explique sua representação.

Explorar a ideia da condutibilidade elétrica desta solução aquosa.

5- Aproveitar a questão da dissolução de sal (NaCl) em água e questionar:

- a) É possível recuperar o sal dissolvido.
- b) Qual a diferença desta transformação para a queima do gás hidrogênio (mostrar a reação da queima do gás hidrogênio)
- c) Como você explicaria esta reação química pensando nas partículas que constituem as substâncias envolvidas na mesma?

- d) Em sua opinião, porque algumas substâncias reagem quando são colocadas juntas e outras não?

6- Em cima de uma chapa de ferro aquecida, sua mãe deixou cair acidentalmente uma porção de açúcar e outra de sal. Logo percebeu que o açúcar fundiu com mais facilidade naquela temperatura. Você tentando explicar a ela este utilizando seus conhecimentos sobre a estrutura da matéria, como o explicou?

7- Em uma máquina de fumaça (explicar que é um modelo de máquina que utiliza gelo seco, que é CO_2 (s) em estado sólido). À temperatura ambiente ele sublima (passa do estado sólido para o gasoso), formando uma névoa.

- a) Como você representaria como você imagina o gelo seco e o gás carbônico? Deixar o aluno desenhar e pedir para explicar o desenho. Explorar como os alunos pensam sobre esse fenômeno.

8- Considerando os combustíveis: gás hidrogênio (H_2) e gás metano (CH_4) (mostrar ao aluno os modelos das moléculas dos gases usando a representação "pau e bola") e conhecendo o calor liberado na combustão dessas substâncias: hidrogênio, libera 286kJ e metano libera 890kJ. Pensando na estrutura da matéria, como você explica que na queima do gás metano a quantidade de calor liberado é maior do que na queima do gás hidrogênio?

4º Período - 5ª Entrevista: março de 2013

1-O que significa o átomo para você? Desenhe como você o imagina e indique suas partes. Explique seu desenho.

2- Pensando na estrutura da matéria e utilizando as palavras indicadas no quadro (mostrar o quadro ao aluno), faça um comentário, estabelecendo uma relação entre elas.

Você poderia fazer um desenho relacionando as palavras acima? (Deixar o aluno desenhar o modelo e pedir que escreva cada parte que desenha). Se o aluno colocar a palavra núcleo e eletrosfera, questionar o que ele pensa sobre os mesmos, sobre as partículas e suas cargas elétricas.

3- Pensando no modelo do átomo que você apresentou (considerando a questão anterior), você poderia reapresentá-lo, supondo que nele existam: 2 prótons, 2 nêutrons e 2 elétrons? (Deixar o aluno representar e questione).

- a) Como você imagina a relação entre os prótons e elétrons neste modelo (se ele apresentar).
 b) O que você considera que exista entre as partículas neste modelo? Como você acha que elas estão dispostas?
 c) Você acha que é possível retirar um elétron do átomo? (Insistir que explique sua afirmação ou negação).
 d) Você considera que os átomos interagem entre si? Como você pensa a este respeito?
 e) Você poderia citar algum fenômeno do seu dia-a-dia que envolva a utilização dessas ideias?

4- O ferro e o ouro são metais muito presentes no nosso dia a dia (Peça ao aluno, para citar aplicações destes metais). Sabe-se que o ferro é um metal muito mais reativo do que o ouro. (Citar, por exemplo, que uma esponja de aço, que contém ferro, "enferruja" com facilidade). Pensando na estrutura da matéria, como você explica o fato de ser comum usarmos o ouro em joias e não o ferro?

5- Sabe-se que o sal de cozinha (NaCl) é conhecido como um aglomerado de íons e no estado sólido não conduz a corrente elétrica, no entanto o cloreto de sódio dissolvido em água é capaz de conduzir a corrente elétrica da mesma forma que o metal cobre. Tanto que o cobre é empregado nos fios elétricos. Como você explicaria estes fenômenos, pensando na estrutura da matéria?

6- Ao se ler o rótulo de muitos tipos de água mineral, pode-se observar que vem escrito, contém cloreto de sódio, o qual, pode-se representar de forma simplificada por NaCl .

- a) Como explicar o fato de o cloro estar atraído pelo sódio, formando o retículo cristalino este composto?
 b) Como você pensa como o sódio se encontra na água mineral, quando você faz a leitura do rótulo: 9,84 mg/L de cloreto e 3,084mg/L de sódio? Se o aluno citar ideias de íons, questioná-lo, como ele pensa que este íon se forma. E solicitar que ele compare entre um átomo de sódio e um íon sódio.

7- Ao compararmos as massas molares do gás carbônico CO_2 44g/mol e do álcool etílico 46g/mol, é possível perceber que não são tão diferentes. No entanto, à temperatura ambiente o gás carbônico é um gás e o álcool etílico um líquido. Como você explicaria utilizando ideias sobre a estrutura da matéria, o fato destas substâncias, embora apresentando massas molares aproximadas se apresentarem em estados físicos diferentes à temperatura ambiente?

8- Você já deve ter ouvido a frase: "água e óleo não se misturam" e, "água e álcool se misturam". Como explicar o fato de o álcool ser solúvel na água e o

óleo pouco solúvel? Como você pensa nestas situações considerando ideias sobre a estrutura da matéria? Se o aluno por acaso, se referir a densidade como a causa, mostrar que não é a densidade a causa da solubilidade, dando exemplos de outras situações, mostrando dados de densidade.

9- Ao observar uma vela queimando, percebe-se a chama amarelada e muitas vezes uma "fumaça preta", que na verdade é a formação de fuligem. Dizemos, está ocorrendo uma transformação química.

Como você explicaria esta transformação química pensando no que está acontecendo entre os átomos das substâncias antes e após a transformação química? Explique considerando ideias sobre a estrutura da matéria? Você poderia citar outra situação que explicasse que uma transformação química está acontecendo, pensando no que ocorre com os átomos das substâncias antes e após a transformação