

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

**A ABORDAGEM DO MODELO ATÔMICO DE BOHR  
ATRAVÉS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E DE  
MODELAGEM**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Giovanna Stefanello Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

# **A ABORDAGEM DO MODELO ATÔMICO DE BOHR ATRAVÉS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E DE MODELAGEM**

**Giovanna Stefanello Silva**

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

**Orientador: Profa. Dra. Mara Elisa Fortes Braibante**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

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

Stefanello Silva, Giovanna

A abordagem do modelo atômico de Bohr através de  
atividades experimentais e de modelagem / Giovanna  
Stefanello Silva.-2013.

216 p.; 30cm

Orientadora: Mara Elisa Fortes Braibante

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e  
Saúde, RS, 2013

Modelo atômico de Bohr 2. Atividades experimentais e de  
modelagem 3. Recursos visuais I. Fortes Braibante,  
Mara Elisa II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências:  
Química da Vida e Saúde**

A Comissão Examinadora abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**A ABORDAGEM DO MODELO ATÔMICO DE BOHR ATRAVÉS DE  
ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E DE MODELAGEM**

elaborada por  
**Giovanna Stefanello Silva**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



---

**Mara Elisa Fortes Braibante, Dra.**  
(Presidente/Orientadora)



---

**Elgion Lucio da Silva Loreto, Dr. (UFSM)**



---

**Marcos Antonio Villetti, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 26 de abril de 2013.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

Serei eternamente grata a meus pais Marta e Ricardo por acreditarem em mim infinitamente e por não medirem esforços em apoiarem meus sonhos. Pai e mãe, se hoje venci essa etapa é porque vocês batalharam muito por isso, prometo continuar correndo atrás de meus sonhos e orgulhando vocês.

Agradeço a vó Metilde por me esperar sempre com um chimarrão assim que eu chegava a Júlio de Castilhos, para acompanhar nossas conversas, além de correr para que o almoço ficasse pronto a tempo de eu ir para a escola desenvolver este trabalho. Ao vô Florentino que mesmo tendo partido, tenho certeza que me acompanha e torce por mim.

Meu muito obrigada a professora Mara Braibante pela oportunidade de trabalhar sob sua orientação durante esses anos todos, além de servir como exemplo de força de vontade e dedicação a profissão. Agradeço também pela acolhida, amizade e ensinamentos que levarei comigo por toda a vida.

Ao professor Hugo Braibante pela paciência e disposição para as discussões envolvendo a Química. Também pela amizade, exemplo de pessoa e de profissional.

A minha irmã Marianna, pelo tempo que ficamos juntas conversando e trocando ideias sobre nossos estudos, ambos envolvendo a Química.

Ao Rodrigo, meu namorado, por estar sempre ao meu lado me apoiando, compartilhando das minhas preocupações e conquistas. Além das incansáveis traduções de resumos e textos para a língua inglesa durante essa etapa.

Aos meus amigos de coração Marcele (Piti) e Maurícius por esses seis anos de convívio e amizade, desde a época de graduação. Agradeço a Marcele que mesmo de longe, dedicou algumas horas do seu dia para me aconselhar por e-mail. Ao Maurícius, meu companheiro incansável do último ano de mestrado, por ouvir meus anseios e desejos além das valiosas contribuições para o desenvolvimento desse trabalho. Vou lembrar para sempre de quando dividíamos a mesa da “salinha” para escrever trabalhos, discutir sobre o ensino de Química e falar da vida, sempre na companhia de um café.

Gostaria de agradecer aos demais colegas do LAEQUI, Ediane, Fernando, Leandro e Thais pelos momentos de conversa e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho. As recém chegadas Ana Carolina e Angela pelas conversas rápidas na salinha. Desejo força e energia nessa nova caminhada.

Ao PIBID, pela possibilidade de co-orientação, mediando o diálogo entre a universidade e a escola. Obrigada pela agradável experiência de trabalhar em conjunto na busca por um ensino de Química mais contextualizado na escola.

Ao pessoal do laboratório, Marcela, Roberto e Thais, pela assistência durante os testes das atividades experimentais.

Agradeço aos professores Elgion Loreto, Isabel Krey e Marcos Villetti integrantes da banca examinadora, por despendem de tempo para contribuir para a melhoria deste trabalho.

A escola que fez parte de minha formação e me recebeu tão bem, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também aos alunos que se dedicaram a participar desta pesquisa, colaborando para a realização da mesma. Além da amizade e carinho.

A UFSM por proporcionar e contribuir para minha formação tanto acadêmica quanto pessoal e a CAPES pelo auxílio financeiro.

A todos aqueles que não citei, mas que de certa forma fizeram parte dessa caminhada, meu muito obrigada.

*Nada vem do nada ou do que não existe, pois se assim não fosse, tudo nasceria de tudo sem necessitar de sementes. Se o que se destrói não passasse a ser outra coisa, passando a não existência, tudo já teria se acabado. Mas o Universo foi sempre tal como é hoje, e como tal será sempre e nada existe em que possa converter-se; pois fora do próprio Universo nada existe em que ele possa vir a se transformar ou com o qual ele possa ser trocado.*

*(Epicuro)*

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências:  
Química da Vida e Saúde  
Universidade Federal de Santa Maria

### **A ABORDAGEM DO MODELO ATÔMICO DE BOHR ATRAVÉS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E DE MODELAGEM**

AUTORA: GIOVANNA STEFANELLO SILVA  
ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARA ELISA FORTES BRAIBANTE  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de abril de 2013.

Conhecer e compreender os conceitos químicos está diretamente relacionado com a capacidade de transitar entre os três níveis de representação que permeiam a Química. Cada um desses níveis envolve o desenvolvimento de diferentes habilidades, dentre elas, a capacidade de abstração. Inúmeros são os conceitos químicos que dependem dessa articulação entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico, como por exemplo, o estudo da estrutura da matéria. Porém, o que se percebe é que grande parte dos estudantes apresenta dificuldades em compreender a transição entre os níveis de representação e conseqüentemente identificar as relações entre os conceitos químicos e seu cotidiano, por isso a importância de se conhecer as concepções dos alunos. Com o propósito de auxiliar os estudantes na construção, visualização e aplicação dos conhecimentos que envolvem o estudo do átomo, em específico o modelo atômico de Bohr, com fatos de seu dia a dia, neste trabalho elaboramos e desenvolvemos diferentes atividades experimentais e de modelagem. Além disso, avaliamos o objetivo didático dos recursos visuais presentes nos cinco livros didáticos aprovados pelo PNLD-2012, em relação à estrutura atômica. Esta análise foi realizada devido à importância desse material em sala de aula e à sua utilização como fonte de pesquisa em algumas atividades desenvolvidas nesta pesquisa, já que as imagens presentes nos livros didáticos podem auxiliar os estudantes nas relações entre a teoria e a prática durante o processo de imaginar alguns fenômenos químicos. De maneira geral, constatamos que há uma diversidade na forma como os recursos visuais são utilizados pelos livros didáticos na abordagem do modelo atômico de Bohr. O trabalho realizado nesta pesquisa foi desenvolvido com trinta e sete sujeitos, de uma turma da primeira série do ensino médio de uma escola pública da cidade de Júlio de Castilhos-RS. Os dados obtidos em sete intervenções foram analisados e categorizados conforme a metodologia da análise textual discursiva. Após a análise dos dados, os resultados demonstram que as diferentes intervenções desenvolvidas, seja através de atividades experimentais ou de modelagem, colaboraram para que os estudantes relacionassem os conceitos químicos aprendidos em sala de aula com diversos fenômenos de seu cotidiano. Além disso, auxiliaram para que eles a partir de suas observações, discussões, interpretações e ideias formulassem suas próprias relações entre o macroscópico e o microscópico, utilizando símbolos e códigos da Química, desta forma, pode-se afirmar que, após as intervenções, os estudantes foram capazes de transitar entre os três níveis de representação da matéria. Essas implicações evidenciam que o ensino de Química precisa proporcionar aos estudantes aulas diferenciadas na tentativa de que estes consigam identificar e relacionar a Química como parte integrante de sua vida.

**Palavras-chave:** Modelo atômico de Bohr. Atividades experimentais e de modelagem. Recursos visuais.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation  
Graduate Program in Science Education:  
Chemistry of Life and Health  
Federal University of Santa Maria

### **THE APPROACH OF BOHR ATOMIC MODEL THROUGH EXPERIMENTAL AND MODELLING ACTIVITIES**

AUTHOR: GIOVANNA STEFANELLO SILVA  
ADVISOR: PROFA. DRA. MARA ELISA FORTES BRAIBANTE  
Date and Local Defense: Santa Maria, April 26th, 2013.

Knowing and understanding the Chemistry concepts is directly related to the capability of moving between the three levels of representation which concern Chemistry. Each one of these levels involve the developing of different abilities, as the capability of abstraction. There are several Chemistry concepts which depend on this articulation between the macroscopic, microscopic and symbolic levels, for example, the study of the matter structure. Though, it is noticed that a large part of the students show difficulties in comprehending the transition between the levels of representation and therefore identifying the relation between the chemical concepts and their everyday lives, this is why it is important to know the concepts of the students. With the purpose of helping the students in the construction, visualization and application of the knowledge which involve the study of the atom, especially the Bohr atomic model, with facts of their daily lives, in this study we elaborated and developed different experimental and modeling activities. Moreover, we evaluated the didactic objective of the visual resources present in the five textbooks approved by the PNL D-2012, in relation to the atomic structure. This analysis was done due to the importance of this material in class and its use as research source in some activities developed in this research, as the images present in the textbooks may help the students in the relation between the theory and the practice during the process of imagining some chemical phenomenon. In a general way, we observed that there is diversity in the way the visual resources are used in the textbooks concerning the Bohr atomic model. This study was taken with thirty seven subjects in a class of freshman students in the city of Júlio de Castilhos, RS. The data taken in seven interventions was analyzed and categorized according to the methodology of the discursive text analyses. After the analyses of the data, the results showed that the different developed interventions, either through experimental or modeling activities, collaborated to the students to correlate the chemical concepts acquired in the classroom with several phenomena of their routine. Furthermore, it helped them to formulate their own relation between the macroscopic and the microscopic by their own observation, discussion, and idea interpretation using the Chemistry codes and symbols. Thus it can be said that, after the interventions, students were able to move between the three levels of representation of matter. These implications show that the teaching of Chemistry needs to provide students with differentiated classes in the attempt that they are able to identify and relate Chemistry as an integral part of their lives.

**Keywords:** Bohr atomic model. Experimental and modeling activities. Visual resources.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Ampola de Crookes. ....	45
<b>Figura 2</b> - Representações do modelo atômico de Thomson. ....	46
<b>Figura 3</b> - Experiência de espalhamento de partículas alfa de Rutherford-Geiger-Marsden. .	47
<b>Figura 4</b> - Representação do modelo atômico de Rutherford. ....	48
<b>Figura 5</b> - Representação do modelo de átomo proposto por Bohr. ....	52
<b>Figura 6</b> - Representação do salto quântico dos elétrons. ....	53
<b>Figura 7</b> - Órbitas elípticas do modelo atômico de Sommerfeld. ....	58
<b>Figura 8</b> - Onda eletromagnética ....	65
<b>Figura 9</b> - Disco de cores. ....	66
<b>Figura 10</b> - Espectro eletromagnético. ....	67
<b>Figura 11</b> - Os três tipos de espectros atômicos. ....	70
<b>Figura 12</b> - Estrutura da molécula da grafite. ....	73
<b>Figura 13</b> - Representação dos fotorreceptores. ....	74
<b>Figura 14</b> - Representação das estruturas químicas das moléculas de 11- <i>cis</i> -retinal (14a) e <i>trans</i> -retinal (14b) ....	76
<b>Figura 15</b> - Esquema da reação de bioluminescência do vaga-lume ....	79
<b>Figura 16</b> - Tubo plástico e ampola de vidro. ....	80
<b>Figura 17</b> - Esquema reacional que descreve a liberação de energia em uma <i>lightstick</i> .....	81
<b>Figura 18</b> - Representação da estrutura química da molécula de tetrahidrometanobenzofuro[2,3-d]oxazina.	

82

<b>Figura 19</b> - Diagrama de energia dos fenômenos de fluorescência (19a) e fosforescência (19b) ....	83
<b>Figura 20</b> - Representação da estrutura química da molécula de clorofila ....	88
<b>Figura 21</b> - Representação da estrutura química da molécula de ácido pícrico. ....	89
<b>Figura 22</b> - Exemplos dos recursos visuais quanto à sequência didática: descrição (22a), interpretação (22b) e problematização (22c). ....	108
<b>Figura 23</b> - Exemplos dos recursos visuais quanto ao grau de iconicidade: desenhos esquemáticos com signos normalizados. ....	110
<b>Figura 24</b> - Exemplos dos recursos visuais quanto à funcionalidade: sintática (24a), operativa elementar (24b) e inoperante (24c). ....	112

<b>Figura 25</b> - Exemplos dos recursos visuais quanto à relação com o texto principal: conotativa (25a), denotativa (25b) e sinóptica (25c). .....	114
<b>Figura 26</b> - Exemplos dos recursos visuais quanto à etiqueta verbal: nominativa (26a), sem etiqueta (26b) e relacionável (26c). .....	116
<b>Figura 27</b> - Exemplos dos recursos visuais quanto aos níveis de representação: macroscópico (27a), microscópico (27b) e simbólico (27c). .....	118
<b>Figura 28</b> - Atividade experimental "algodão luminoso" .....	130
<b>Figura 29</b> - Atividade experimental realizada pelos estudantes. ....	131
<b>Figura 30</b> - Representações das regiões do átomo por escrito (30a) e sem indicação por escrito (30b) .....	148
<b>Figura 31</b> - Representação das partículas constituintes do átomo: por escrito (31a), por signos (31b) e por escrito + signos (31c). .....	150
<b>Figura 32</b> - Modelos representativos dos estudantes para o átomo: Rutherford (32a e 32b) e Bohr (32c). .....	151
<b>Figura 33</b> - Representação da confusão entre célula e átomo. ....	151
<b>Figura 34</b> - Esquema elaborado pelo estudante 30 .....	160
<b>Figura 35</b> - Investigação das pulseiras lightsticks pelos estudantes. ....	162
<b>Figura 36</b> - Desenho esquemático elaborado pelo estudante 2. ....	163
<b>Figura 37</b> - Esquema elaborado pelo estudante 5 para a explicação da atividade experimental. ....	166
<b>Figura 38</b> - Esquema elaborado pelo estudante 19 .....	167
<b>Figura 39</b> - Atividade de modelagem realizada pelos estudantes. ....	172
<b>Figura 40</b> - Modelos de Dalton (40a) e Bohr (40b) elaborados pelo grupo 1 .....	174
<b>Figura 41</b> - Modelos de Thomson (41a) e Bohr (41b) elaborados pelo grupo 2. ....	175
<b>Figura 42</b> - Modelos de Rutherford (42a) e Bohr (42b) elaborados pelo grupo 3. ....	176
<b>Figura 43</b> - Modelos de Dalton (43a) e Thomson (43b) elaborados pelo grupo 4. ....	179

## LISTA DE ESQUEMAS

<b>Esquema 1</b> - A atividade experimental a partir da relação dos pressupostos necessários para a compreensão do conceito científico. ....	24
<b>Esquema 2</b> - Relação entre as principais etapas envolvidas na construção de modelos. ....	37
<b>Esquema 3</b> - Relação entre os elementos propostos por Empédocles e Aristóteles. ....	43
<b>Esquema 4</b> - Representação dos elementos essenciais de um espectrógrafo e fonte de luz....	54
<b>Esquema 5</b> - Transições eletrônicas em um átomo de hidrogênio. ....	55
<b>Esquema 6</b> - Diferentes séries para o átomo de hidrogênio a partir de suas transições eletrônicas. ....	56
<b>Esquema 7</b> - <i>Experimentum Crucius</i> realizado por Newton na decomposição da luz .....	63
<b>Esquema 8</b> - Representação da refração e reflexão da luz emitida pelo sol que origina o arco-íris. ....	71
<b>Esquema 9</b> - Resumo dos diferentes processos de emissão de luz.....	84
<b>Esquema 10</b> - Diagrama de representação dos níveis de energia dos orbitais moleculares. ...	86
<b>Esquema 11</b> - Elementos principais da ATD .....	135

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Possíveis corantes responsáveis pelas cores das <i>lightsticks</i> .....	89
<b>Quadro 2</b> - Metais responsáveis pela coloração nos fogos de artifício. ....	91
<b>Quadro 3</b> - Definição das seis categorias. ....	101
<b>Quadro 4</b> - Unidades elementares para a análise da sequência didática .....	102
<b>Quadro 5</b> - Unidades elementares para a análise do grau de iconicidade .....	103
<b>Quadro 6</b> - Unidades elementares para a análise da funcionalidade das imagens. ....	103
<b>Quadro 7</b> - Unidades elementares para a análise da relação com o texto principal. ....	104
<b>Quadro 8</b> - Unidades elementares para a análise da etiqueta verbal. ....	104
<b>Quadro 9</b> - Unidades elementares para a análise do conteúdo científico. ....	105
<b>Quadro 10</b> - Palavras sugeridas para a elaboração do texto. ....	133

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - O espectro visível. ....	67
<b>Tabela 2</b> - Primeiras observações dos diferentes tipos de luminescência.....	78
<b>Tabela 3</b> - Livros analisados, suas informações e códigos de identificação.....	106
<b>Tabela 4</b> - Descrição das atividades desenvolvidas .....	125
<b>Tabela 5</b> - Relação dos grupos, componentes e modelos a serem construídos.....	173

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Classificação dos recursos visuais quanto à sequência didática .....	107
<b>Gráfico 2</b> - Classificação dos recursos visuais quanto à iconicidade .....	109
<b>Gráfico 3</b> - Classificação dos recursos visuais quanto à funcionalidade .....	111
<b>Gráfico 4</b> - Classificação dos recursos visuais quanto à relação com o texto principal. ....	112
<b>Gráfico 5</b> - Classificação dos recursos visuais quanto à etiqueta verbal. ....	115
<b>Gráfico 6</b> - Classificação dos recursos visuais quanto ao conteúdo científico. ....	116
<b>Gráfico 7</b> - Classificação dos recursos visuais quanto aos níveis de representação. ....	117
<b>Gráfico 8</b> - Gênero da turma .....	123
<b>Gráfico 9</b> - Faixa etária dos estudantes. ....	123
<b>Gráfico 10</b> - Preferência dos estudantes em relação aos componentes curriculares. ....	141
<b>Gráfico 11</b> - Relações entre a Química e o cotidiano feitas pelos estudantes .....	143
<b>Gráfico 12</b> - Número de alunos que identificou as partículas constituintes do átomo. ....	149
<b>Gráfico 13</b> - Composição dos fogos de artifício. ....	158
<b>Gráfico 14</b> - Diferenças apontadas pelos estudantes em relação à luz negra e ultravioleta. .	169

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATD	Análise Textual Discursiva
HOMO	Highest Occupied Molecular Orbital
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
LAEQUI	Laboratório de Ensino de Química
LD	Livro Didático
LUMO	Lowest Unoccupied Molecular Orbital
OM	Orbital Molecular
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
RS	Rio Grande do Sul
UV	Ultravioleta

## LISTA DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1</b> - Sondagem diagnóstica .....	205
<b>Apêndice 2</b> - Guia dos modelos atômicos .....	206
<b>Apêndice 3</b> - Problemas propostos relacionados à estrutura da matéria .....	207
<b>Apêndice 4</b> - Roteiro da atividade experimental “algodão luminoso” .....	209
<b>Apêndice 5</b> - Roteiro da atividade experimental de separação dos componentes da lightstick .....	211
<b>Apêndice 6</b> - Roteiro da atividade experimental “Ligando a luz: excitando os elétrons” ....	212
<b>Apêndice 7</b> - Guia auxiliar para a construção dos modelos atômicos .....	214

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> - Publicações relacionadas a essa pesquisa.....	215
--	-----

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 1 – A UTILIZAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO DE QUÍMICA.....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 2 – DO ÁTOMO ÀS CORES.....</b>	<b>41</b>
<b>2.1 estrutura atômica: um breve histórico .....</b>	<b>41</b>
2.1.1 O átomo e os gregos .....	42
2.1.2 O atomismo de John Dalton .....	44
2.1.3 Passas em um pudim.....	44
<b>2.2 A mecânica quântica e a sua influência na criação de novos modelos para o átomo .....</b>	<b>49</b>
2.2.1 O nascimento da mecânica quântica.....	49
<b>2.3 Bohr e o novo modelo de átomo .....</b>	<b>51</b>
2.3.1 O átomo de hidrogênio .....	54
<b>2.4 A constante busca pela explicação da estrutura da matéria.....</b>	<b>57</b>
2.4.1 As órbitas elípticas de Sommerfeld.....	57
2.4.2 A dualidade onda-partícula do elétron.....	58
2.4.3 A incerteza de Heisenberg.....	59
2.4.4 A contribuição de Schrödinger .....	60
2.4.5 Os nêutrons de Chadwick .....	60
<b>2.5 A natureza da cor e da luz .....</b>	<b>61</b>
2.5.1 Luz: uma forma especial de energia .....	63
2.5.2 O espectro eletromagnético .....	65
2.5.3 Espectros de emissão e de absorção .....	68
<b>2.6 A percepção da cor .....</b>	<b>70</b>
2.6.1 A Química e a visão.....	73
<b>2.7 Energia e a Química das cores.....</b>	<b>77</b>
2.7.1 Processos de emissão de luz .....	77
2.7.2 A teoria do orbital molecular.....	85
2.7.3 As moléculas orgânicas e sua interação com a luz.....	87
2.7.4 Transições eletrônicas do tipo <i>d</i> : compostos inorgânicos .....	90

<b>CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS RECURSOS VISUAIS UTILIZADOS NA ABORDAGEM DOS MODELOS ATÔMICOS PELOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA APROVADOS NO PNLD 2012</b>	<b>93</b>
.....	
<b>3.1 Investigações nos livros didáticos</b>	<b>94</b>
<b>3.2 As funções dos recursos visuais no ensino</b>	<b>98</b>
<b>3.3 Análise dos livros didáticos</b>	<b>101</b>
<b>3.4 Resultados e discussões da análise</b>	<b>106</b>
<b>3.5 Algumas considerações</b>	<b>119</b>
<b>CAPÍTULO 4 – ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA</b>	<b>121</b>
.....	
<b>4.1 Contexto da pesquisa</b>	<b>122</b>
<b>4.2 Instrumentos utilizados para a coleta de dados</b>	<b>123</b>
<b>4.3 Desenvolvimento das atividades</b>	<b>124</b>
4.3.1 Intervenção 1: Sondagem diagnóstica	126
4.3.2 Intervenção 2: Evolução dos modelos atômicos	126
4.3.3 Intervenção 3: A Química e as cores	128
4.3.4 <i>Intervenção 4: Desvendando as lightsticks</i>	131
4.3.5 Intervenção 5: Ligando a luz: excitando os elétrons	132
4.3.6 Intervenção 6: Vamos construir?	133
4.3.7 Intervenção 7: Encerramento das atividades	134
<b>4.4 Análise dos dados obtidos</b>	<b>135</b>
<b>CAPÍTULO 5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>139</b>
.....	
<b>5.1 Análise e discussão da intervenção “Sondagem diagnóstica”</b>	<b>139</b>
5.1.1 Componente curricular preferido	139
5.1.2 A presença da Química no cotidiano	142
5.1.3 Aulas experimentais de Química	144
5.1.4 Constituição da matéria	145
<b>5.2 Análise e discussão da intervenção “Evolução dos modelos atômicos”</b>	<b>146</b>
5.2.1 Concepções dos estudantes em relação ao átomo	147
5.2.2 Acontecimentos químicos, físicos e históricos da evolução atômica	152
5.2.3 Os modelos atômicos e os fatos do cotidiano	154
<b>5.3 Análise e discussão da intervenção “A Química e as cores”</b>	<b>157</b>

5.3.1 Os fogos de artifício e sua relação com o átomo: ideias iniciais dos estudantes...	157
5.3.2 Atividade experimental “algodão luminoso” .....	159
<b>5.4 Análise e discussão da intervenção “Desvendando as <i>lightsticks</i>” .....</b>	<b>161</b>
5.4.1 O protagonismo dos estudantes na investigação do funcionamento das <i>lightsticks</i> .....	162
5.4.2 Separação cromatográfica e o modelo atômico de Bohr .....	165
<b>5.5 Análise e discussão da intervenção “Ligando a luz: excitando os elétrons” .....</b>	<b>168</b>
5.5.1 Ideias dos alunos em relação à luz negra e ultravioleta.....	168
5.5.2 Produção de texto .....	170
<b>5.6 Análise e discussão da intervenção “Vamos construir?” .....</b>	<b>171</b>
<b>5.7 Análise e discussão da intervenção “Encerramento das atividades” .....</b>	<b>179</b>
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>181</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>185</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>205</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>215</b>

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

“Existe satisfação em meramente observar o mundo, mas essa satisfação pode ser aprofundada quando a visão da mente consegue penetrar na superfície das coisas para enxergar as conexões existentes” (ATKINS, 2002, p. VII). De certa forma, essa citação nos faz refletir sobre os inúmeros aspectos que fazem parte deste mundo, porém a questão “do que ele é formado” é a que mais aguça nossa curiosidade.

Desde os primórdios, a origem, a composição, as transformações e outras características de nosso universo são foco de estudo das Ciências Naturais, dentre elas citamos a Química e a Física. Sendo assim, estudos realizados por diversos cientistas resultaram em um dos maiores avanços no campo da Ciência, ou seja, a proposta de que toda a matéria existente no universo seja constituída por átomos.

As discussões envolvendo a estrutura da matéria perduraram durante anos, resultando em leis e postulados com base em testes experimentais, rupturas de teorias e substituição destas por outras mais coerentes com as ideias aceitas pela comunidade científica da época. Segundo Mortimer (1992, p. 244)

a noção do átomo como bloco básico de construção da matéria, tão cara a teoria atômico-molecular clássica, foi totalmente subvertida com o advento dos modelos atômicos da mecânica ondulatória. O que se imaginava como um sólido bloco de construção da matéria se revela agora um padrão difuso, constituído por partículas que tem simultaneamente características de onda, e para as quais não se pode falar em trajetória, mas sim em estados probabilísticos. A mesma ruptura ocorre entre uma visão realista do mundo e a visão clássica da teoria atômica. Como imaginar que a matéria que nos parece tão sólida e contínua, seja na verdade descontínua, “cheia” de vazios? A ideia introduzida pelo modelo de átomo nuclear, de que o átomo é, na sua maior parte, vazio, pode ser entendida numa perspectiva, que vê a matéria como algo pleno? Esses exemplos mostram que a História da Química não é feita de uma sucessão linear de fatos. Ao contrário, maioria dos avanços é conseguida a duras penas, sendo normalmente marcados por intensos debates que vão resultar em rupturas entre as novas concepções e as concepções passadas (MORTIMER, 1992, p. 244).

Aceitar a noção de Ciência como algo provisório e em constante modificação, principalmente em relação ao átomo, foi muito importante para a evolução da Ciência. Conforme aponta o autor, as inúmeras pesquisas realizadas pelos cientistas resultaram no modelo atual de átomo.

Imaginar e projetar aquilo que não se pode ver está relacionado com a busca de possíveis explicações para alguns fenômenos de nosso cotidiano. Essa tentativa de

compreender a constituição, propriedades e transformações da matéria está intrinsecamente ligada à capacidade de abstração. Ser capaz de transitar entre os níveis macroscópico e microscópico, tão importantes para o entendimento de fatos e fenômenos de nosso cotidiano, é um dos objetivos da Química.

Para o ensino médio, o estudo da Química deve permitir aos estudantes o entendimento de aspectos conceituais e fundamentais, como por exemplo, conceitos relacionados à estrutura da matéria. Sendo assim, é importante que o professor desenvolva tais conceitos de forma contextualizada, partindo de situações reais que são vivenciadas pelos estudantes. Atualmente percebemos que o ensino de Química passa por um momento de transformação e se contrapõe à velha ênfase do ensino tradicional, com base em diversos aspectos, tais como: a memorização de informações, nomes e fórmulas; conceitos desvinculados das vivências dos estudantes; o não desenvolvimento de atividades experimentais (BRASIL, 2002; SCHNETZLER, 2010).

A busca por novas maneiras de se abordar os conceitos químicos, promover o desenvolvimento de habilidades e competências bem como proporcionar o protagonismo dos estudantes como construtores de seu próprio conhecimento, são alguns dos objetivos do atual ensino de Química. Inúmeros são os responsáveis por essas mudanças, como: eventos da área de ensino de Ciências; programas federais de incentivo à docência, por exemplo, o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID); grupos de pesquisas, entre outros. Neste sentido, nosso grupo de pesquisa Laboratório de Ensino de Química (LAEQUI)<sup>1</sup>, vem promovendo discussões e desenvolvendo diversas estratégias na tentativa de facilitar a compreensão de conceitos relacionados à Química, em sala de aula, a partir de temáticas como: lixo eletrônico, alimentos, atmosfera, saúde bucal, esporte, entre outras.

Segundo Vilches et al. (2001) e Gil-Pérez et al. (2005), as temáticas podem ser trabalhadas em sala de aula na forma de oficinas, denominadas de oficinas temáticas, na qual aspectos do dia a dia dos estudantes são problematizados nas diferentes atividades propostas que compõem a oficina. Em nosso grupo de pesquisa, diferentes atividades são desenvolvidas durante as oficinas temáticas. Dentre essas atividades citamos, por exemplo, as atividades experimentais realizadas por Zappe (2011). Partindo da temática “agrotóxicos” a autora desenvolve diferentes atividades experimentais na tentativa de relacionar tópicos da Química com os agrotóxicos, investigando como estas proposições metodológicas podem contribuir para a aprendizagem de Química e para a formação do estudante como cidadão.

---

<sup>1</sup> Laboratório de Ensino de Química da Universidade Federal de Santa Maria. Endereço eletrônico: <http://w3.ufsm.br/laequi/>

O trabalho de Trevisan (2012) consistiu na abordagem da temática “saúde bucal”. Diferentes atividades foram utilizadas durante essa pesquisa, dentre elas a realização de um júri químico. Essa atividade lúdica visa contribuir para a capacidade de tomada de decisões dos estudantes quando expostos a problemas que devem ser resolvidos, neste caso, por meio do conhecimento químico. Outra atividade desenvolvida pelo grupo foi a realização de um estudo de caso por Pazinato (2012), que teve por objetivo estimular os estudantes na resolução de problemas e na tomada de decisões, a partir dos conteúdos já desenvolvidos em oficinas anteriores, relacionadas à temática “alimentos”.

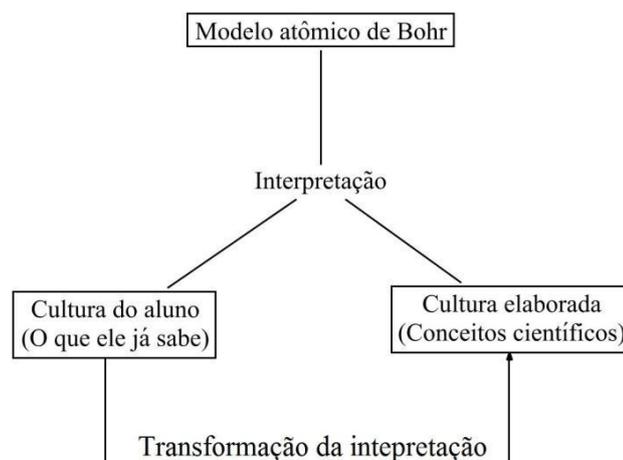
No presente trabalho, não partimos de uma temática para trabalhar em sala de aula, mas sim de um conteúdo essencial para o conhecimento e entendimento da estrutura da matéria, que envolve noções abstratas e exige que o estudante seja capaz de transitar entre os níveis de representação macroscópico, microscópico e simbólico. Dessa forma, o conteúdo escolhido foi o modelo de átomo proposto pelo cientista Niels Bohr. Os diferentes conceitos envolvidos na teoria de Bohr foram abordados em sala de aula através da realização de atividades experimentais, resolução de exercícios e atividade de modelagem. Essas atividades foram desenvolvidas com o intuito de “aproximar os saberes da realidade vivenciada pelos estudantes em seu dia a dia e os conhecimentos científicos, como forma de enriquecimento da própria experiência” (ARAÚJO, 2003, p. 34). Em algumas atividades, quando necessário, diferentes livros didáticos foram utilizados como fonte de pesquisa pelos estudantes, para isso, os estudantes recorreram tanto a textos, leituras complementares e imagens presentes nesse recurso.

O modelo atômico de Bohr, apesar de não ser o modelo mais atual de átomo aceito pela comunidade científica, ainda é utilizado para explicar diversos fenômenos observados em nosso cotidiano. Em relação ao ensino desse modelo em sala de aula, percebe-se a pouca ênfase dada aos fatos do cotidiano através de atividades diferenciadas, resultando na falta de interesse por parte dos estudantes.

Em relação às atividades experimentais, segundo Giordan (1999), é

de conhecimento dos professores de Ciências o fato de a experimentação despertar um interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa de que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas em pauta (GIORDAN, 1999, p. 43).

Sendo assim, podemos dizer que a experimentação é um meio pedagógico empregado para favorecer a exploração conceitual na área do ensino de Ciências. Além disso, é uma ferramenta que pode ser utilizada para promover a interpretação e o entendimento de conceitos científicos através da relação entre esses conceitos e as noções iniciais que cada aluno apresenta<sup>2</sup>. Com base nesses pressupostos e no conceito científico que escolhemos como foco da pesquisa desse trabalho, elaboramos o Esquema 1 que apresenta essas relações tão importantes em uma atividade experimental.



Esquema 1 - A atividade experimental a partir da relação dos pressupostos necessários para a compreensão do conceito científico.

O Esquema 1 propõe que a interpretação dos conceitos envolvidos no modelo atômico de Bohr, por meio de atividades experimentais, ocorre inicialmente a partir dos conhecimentos que os estudantes já possuem. À medida que a atividade é desenvolvida, e os conceitos abordados, esses conhecimentos são transformados e enriquecidos conceitualmente, resultando na construção do conhecimento científico.

Outra atividade importante utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi a modelagem, que teve por objetivo auxiliar os estudantes a conhecer um pouco mais sobre a construção da Ciência, com base na evolução das teorias científicas e compreender como ocorre o processo de investigação e construção desses modelos a partir da elaboração de seus próprios modelos. A prática de modelar não é uma tarefa muito simples, pois exige que o

<sup>2</sup> Palestra ministrada por Maria Eunice Ribeiro Marcondes no I Workshop de Ensino de Ciências, Santa Maria, setembro de 2011.

estudante manifeste seu modelo mental através da construção de um modelo material que represente sua ideia. Essa tarefa envolve a habilidade de transitar entre os níveis concreto e abstrato, que embasam o estudo da estrutura atômica.

Neste sentido, encontramos nas palavras de Morgan e Morrison (1999) a importância do desenvolvimento de atividades deste tipo em sala de aula.

O conhecimento sobre o que são modelos, suas aplicações e limitações se coloca como aspecto fundamental a ser desenvolvido para que o aluno possa participar de atividades relativas à modelagem. Envolver estudantes no estudo sobre a utilização dos modelos na Ciência favorece que eles percebam os modelos como importantes ferramentas na prática científica e conheçam a estreita relação dos mesmos com o desenvolvimento de teorias, no sentido de que modelos podem ser usados como instrumentos de exploração tanto no domínio prático quanto no teórico, como mediadores entre teoria e fenômeno. Além disso, para entender Ciência, os estudantes devem conhecer como modelos são construídos e validados (MORGAN e MORRISON, 1999, p. 10, tradução nossa).

Considerando as propostas atuais para o ensino de Ciências que “defendem a inserção dos alunos em atividades que objetivem a percepção da Ciência como um construto humano, dinâmico e não linear” (MENDONÇA, 2008, p. VI), acreditamos que a realização de intervenções como atividades experimentais e de modelagem podem facilitar a abordagem de temas abstratos, como o caso dos conceitos envolvidos para o entendimento do modelo atômico de Bohr. Sendo assim, o problema de pesquisa deste trabalho é **“Como as atividades experimentais e de modelagem podem contribuir para a aprendizagem dos conceitos relacionados ao modelo atômico de Bohr?”**.

Apontamos como possíveis responsáveis pelo pouco interesse dos estudantes pela Química, em específico o modelo atômico de Bohr, as seguintes situações:

- A pouca ênfase dada pelos professores à contextualização do conteúdo referente ao modelo atômico de Bohr, a partir de aspectos presentes no cotidiano dos estudantes;
- A abordagem teórica do modelo de átomo proposto por Bohr, desvinculada de aspectos que contribuam para que os estudantes transitem e estabeleçam relações entre os níveis de representação macroscópico e microscópico.

Partindo desses pressupostos, o objetivo geral desta pesquisa é desenvolver diferentes atividades experimentais e de modelagem na tentativa de auxiliar os estudantes na construção, visualização e aplicação dos conhecimentos que envolvem a teoria atômica, mais especificamente o modelo atômico de Bohr, em fatos de seu cotidiano. Com o intuito de alcançar esse objetivo, os seguintes objetivos específicos foram elaborados:

- Analisar o objetivo didático dos recursos visuais utilizados na abordagem do conteúdo de modelos atômicos pelos autores dos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2012;

- Realizar um levantamento das concepções apresentadas pelos estudantes em relação à estrutura da matéria;

- Auxiliar os estudantes na compreensão da transição entre os três níveis de representação, para que adquiram embasamento teórico para o entendimento da natureza e a interpretação de seus fenômenos;

- Desenvolver atividades experimentais e de modelagem que possibilitem a contextualização da teoria proposta pelo modelo atômico de Bohr em sala de aula;

- Proporcionar aos estudantes através dessas atividades o desenvolvimento de competências e habilidades no campo da pesquisa e observação, discussão de resultados e formulação de hipótese.

A pesquisa realizada nesta dissertação foi organizada em seis capítulos que serão brevemente descritos a seguir.

O capítulo 1, **A utilização de modelos no ensino de Química**, discute sobre os inúmeros significados atribuídos à palavra modelo e por quais motivos alguns conceitos da Ciência precisam recorrer a esse tipo de ferramenta para serem compreendidos por aqueles que ensinam e aprendem. Além disso, apresentamos as etapas que devem ser respeitadas na elaboração de modelos, como por exemplo, durante uma atividade de modelagem.

No decorrer do capítulo 2, **Do átomo às cores**, é apresentada uma revisão teórica sobre os principais conceitos químicos e físicos necessários para a interpretação dos estudos relacionados à estrutura da matéria, em especial, do modelo atômico de Bohr, e sua relação com a cor.

O capítulo 3, **Análise dos recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos pelos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2012**, apresenta o levantamento realizado nos capítulos dos livros didáticos de Química referentes ao estudo da estrutura atômica, a partir dos recursos visuais apresentados por esse material didático.

No capítulo 4, **Aspectos metodológicos da pesquisa**, é apresentado diversos aspectos que caracterizam essa pesquisa, a metodologia de coleta e análise dos dados, além da descrição das atividades elaboradas para o desenvolvimento das intervenções.

O capítulo 5, **Análise e discussão dos resultados**, apresenta os resultados obtidos durante a pesquisa e as discussões que deles surgiram a partir da análise de todo o material obtido.

Já o capítulo 6, **Considerações finais**, apresenta uma reflexão geral dos resultados obtidos durante a pesquisa, na tentativa de apontar as contribuições e implicações desta dissertação para o ensino de Ciências.



## CAPÍTULO 1 – A UTILIZAÇÃO DE MODELOS NO ENSINO DE QUÍMICA

Talvez um dos conceitos mais importantes na disciplina de Química, para o entendimento da constituição da matéria e para a aprendizagem de outros conteúdos, seja o conceito de átomo. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) o ensino de Química deve estar centrado em estudos sobre as transformações químicas que ocorrem na natureza e nas propriedades dos materiais e substâncias que a constituem (BRASIL, 2002). No entanto, muitas vezes para que isso seja possível, é necessário recorrer ao uso de modelos, uma vez que a Química é uma Ciência que envolve muitas noções abstratas para seu entendimento.

Mas afinal, o que é um modelo? Por que precisamos construí-lo para explicar algum fenômeno microscópico ou algo que não podemos ver? No dicionário Aurélio, encontramos sete definições diferentes para a palavra modelo, dentre as quais destacamos duas: a primeira como sendo o protótipo de um objeto, e a segunda como uma representação, em pequena escala, de algo que se pretende reproduzir em grande (FERREIRA, 2010). Porém, percebemos que essas duas definições são muito amplas, e apresentam diferentes interpretações dependendo do contexto em que a palavra modelo está sendo empregada. Mas para a Ciência, de maneira geral, “um modelo é uma representação parcial de uma entidade, elaborado com um ou mais objetivos específicos e que pode ser modificado” (GILBERT et al., 2000, p. 11, tradução nossa). Mesmo assim, percebemos ainda que esta definição apresenta um significado muito amplo e pode gerar noções equivocadas ao leitor.

Fizemos o uso de modelos quando desejamos representar algum elemento que faz parte de nosso cotidiano, dessa forma podemos dizer que os modelos são representações parciais e abstratas da nossa realidade. Ao assumirmos essa ideia, conforme sugere Justi (2006, p. 175) precisamos considerar que os modelos “não são a realidade nem cópias idênticas desta, são criados pela mente humana, são provisórios e apresentam limitações”. Mesmo apresentando tais restrições, o uso de modelos é importante para o desenvolvimento da Ciência e faz parte do processo de aquisição do conhecimento pelo ser humano. No ensino de Ciências, em específico no ensino de Química, os modelos são instrumentos utilizados como mediadores entre a realidade e a teoria (MORGAN e MORRISON, 1999) e tem por objetivo, auxiliar os estudantes na visualização de aspectos e entidades abstratas. Como

sabemos, os modelos científicos são normalmente complexos, sendo assim os modelos empregados pelos professores em sala de aula são mais simplificados. Esses modelos são denominados modelos de ensino e, quando utilizados, devem “preservar a estrutura conceitual do modelo científico ao qual se relaciona, além de demonstrar a interação dinâmica entre pensamentos e ações na Ciência” (GILBERT e BOULTER, 1995 apud SOUZA et al., 2006, p. 8).

Outro fator importante, que deve ser considerado é o fato de que os modelos são elaborados pela mente humana, ou seja, cada pessoa cria um modelo sobre determinado aspecto de seu interesse a partir das ideias que já possui. Dessa forma, Johnson-Laird denominou esse tipo de construção de modelos mentais, que podem ser definidos como representações analógicas da realidade, manipuladas mentalmente, para explicar e interpretar determinada situação, bem como as relações imaginadas entre esses modelos com o objetivo de produzir uma representação interna que irá funcionar como um substituto para esta situação (KRAPAS et al., 1997; GRECA e MOREIRA, 2000, 2002).

Destacaremos neste trabalho, os modelos de ensino e mental, por acreditarmos que ambos, desempenham importante papel na construção do conhecimento científico dos estudantes em relação à disciplina de Química. Para que isso ocorra, é necessário que o professor seja mediador neste processo, buscando sempre conhecer os modelos mentais dos estudantes em relação a um determinado conceito em estudo na sala de aula, por exemplo, para juntos construir os modelos de ensino. No entanto, o papel do professor vai além, é também dele a responsabilidade, em conjunto com os estudantes de (JUSTI, 2010b):

- conhecer a natureza, a abrangência, a aplicação e as limitações dos principais modelos científicos;
- compreender adequadamente a natureza dos modelos e ser capaz de avaliar o papel dos mesmos no desenvolvimento e disseminação dos resultados da pesquisa científica;
- ser capaz de criar, expressar e testar seus próprios modelos (JUSTI, 2010b, p. 215).

A construção de diversos conceitos no ensino de Ciências, principalmente os que exigem alto nível de abstração por parte dos estudantes, baseados na utilização de modelos deveriam sempre abranger tais aspectos, no entanto na maioria das vezes não é isso que ocorre. Estes pontos são muito importantes para a construção da ideia de estrutura atômica a partir do uso de modelos na disciplina de Química. Os professores ao desenvolverem esse conceito com seus alunos devem estar seguros que, todos os estudantes compreendam que os modelos são apenas representações de fenômenos e entidades microscópicas que os auxiliam

no entendimento e comportamento da matéria. Neste sentido, o estudo de França et al. (2009) revela que conhecer as ideias dos alunos em relação ao átomo pode auxiliar o professor a planejar melhor suas aulas, a acompanhar mais profundamente a aprendizagem de seus alunos, de maneira a melhorar os resultados obtidos no processo de ensino e aprendizagem. Além disso, é importante que os alunos conheçam o contexto no qual um modelo foi criado para explicar determinado aspecto, suas limitações e, se for o caso sua substituição por outro modelo.

Considerando todos esses aspectos, e que a base da Química está completamente centrada no uso de modelos, diversos estudos foram realizados com o intuito de conhecer as implicações dos modelos utilizados em sala de aula no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, bem como quais os modelos criados por eles na tentativa de ilustrar determinado fenômeno. Partindo da ideia de que as analogias são um tipo de modelo de ensino, e que elas contribuem nos processos cognitivos envolvidos na aprendizagem de conceitos que exigem noções abstratas, a pesquisa realizada por Mendonça et al. (2005) com cento e dez alunos da educação básica, de idades entre quinze-dezoito anos, teve por objetivo investigar como os estudantes compreendem o conceito de equilíbrio químico através do uso das analogias “homem na esteira” e “peixes no aquário”, e como estas contribuem para que eles aprendam sobre esse tema. Além disso, a revisão da literatura realizada pelas autoras aponta inúmeras dificuldades que os alunos apresentam, principalmente em relação a visão compartimentalizada do equilíbrio, o equilíbrio visto como estático ou como um pêndulo, e não dinâmico. Os resultados demonstraram que dependendo da analogia utilizada na abordagem desse conceito, os estudantes apresentam dificuldades em apontar suas limitações, além de desenvolverem concepções erradas em relação às quantidades de reagentes e produtos envolvidos no processo, quando o sistema analisado se encontra em equilíbrio químico.

Fernandez e Marcondes (2006) realizaram um levantamento bibliográfico com o intuito de investigar as concepções dos estudantes em relação ao conceito de ligações químicas. O estudo apontou diversos problemas apresentados pelos estudantes no entendimento desse assunto, como por exemplo: confusão entre ligação iônica e covalente, regra do octeto, geometria e polaridade das moléculas, representação das ligações, entre outros. Conforme as pesquisadoras, esse tema transita no nível abstrato do conhecimento químico e para facilitar seu entendimento é necessário que os estudantes formulem modelos. No entanto, através do levantamento realizado, se percebe que na maioria das vezes os estudantes criam conceitos científicos distorcidos ou concepções alternativas, dificultando a

elaboração de modelos de ensino. Por isso esse processo de construção deve ocorrer em conjunto com o professor, para que ambos criem novos modelos evitando qualquer tipo de equívoco na aprendizagem de determinado assunto. Outra pesquisa que apresenta dados relacionados à utilização de atividades de modelagem no processo de ensino e aprendizagem de ligações químicas foi desenvolvida por Mendonça (2008). O estudo foi realizado com quinze alunos de uma turma da primeira série do ensino médio, com idades entre dezoito-cinquenta anos, da cidade de Belo Horizonte, e por meio da análise dos dados obtidos, a pesquisadora concluiu que o desenvolvimento de atividades utilizando modelagem, realizadas pelos estudantes envolvidos, proporcionou um melhor entendimento do assunto em estudo. Os estudantes puderam a partir de seus modelos mentais aliados as novas informações, compreender como e por qual motivo os modelos são construídos no ensino de Química, bem como sua natureza, limitações, provisoriedade, dentre outros aspectos.

Outro assunto alvo de estudos foi o conceito de solução, realizado por Carmo e Marcondes (2008). Conforme a afirmação das autoras em seu trabalho, a escolha por este tema está relacionada às dificuldades que os professores apresentam em ensinar o conceito de solução no ensino médio vinculado a noções microscópicas. Dessa forma, o objetivo do estudo era analisar a visão dos estudantes sobre esse assunto a partir de suas concepções prévias e dos modelos explicativos utilizados por eles para ilustrar determinado fenômeno. Participaram da pesquisa cento e um estudantes da segunda e terceira séries do ensino médio, que ainda não haviam estudado o tema, de duas escolas públicas da região urbana de São Paulo. A verificação das concepções prévias dos estudantes em relação ao tema foi realizada por meio da aplicação de questionários. Após o desenvolvimento da aula, utilizando diferentes sistemas de soluções, os estudantes foram convidados a estruturarem suas ideias a partir da criação de um mapa conceitual. Segundo Moreira (2005), de modo geral, mapas conceituais são diagramas que indicam relações entre conceitos. Sendo assim, as pesquisadoras defendem que a utilização desta ferramenta pode auxiliar o professor a evidenciar a compreensão ou não do conceito de solução por parte dos estudantes, possibilitando um replanejamento do ensino. A análise dos dados obtidos evidenciou que os estudantes criam modelos explicativos na tentativa de representar o processo de dissolução e a ideia de homogeneidade, por exemplo. Ou seja, os estudantes fornecem explicações macroscópicas aos conceitos relacionados às soluções, influenciados pelos aspectos observáveis e pelas experiências que vivenciam em seu cotidiano.

Pela breve análise desses estudos, podemos apontar que a capacidade de abstração dos estudantes para a interpretação de diversos conceitos da Química é um dos principais

problemas encontrados em sala de aula. Os estudantes criam modelos baseados naquilo que veem ou no que imaginam na tentativa de compreender e interpretar tais conceitos. Ao afirmarmos que os modelos são construídos pessoais e que o processo de explicitar, clarificar e construir novas ideias, em relação a novos aprendizados, é interno (MORTIMER, 2000), destacamos o papel do professor como principal mediador nesse processo de aprendizagem de novos conceitos para que não haja a formulação de conhecimentos equivocados.

Além dos estudos apresentados acima, podemos citar também outros relacionados com o enfoque de nosso trabalho, ou seja, o estudo da estrutura atômica. Sabemos que a aprendizagem do conceito de átomo demanda o envolvimento de noções abstratas, concepções de modelos, palavras e símbolos (ROMANELLI, 1996). Isso torna o processo de ensino e aprendizagem muito complexo, exigindo dos professores uma maior atenção durante o seu desenvolvimento. Desta forma, é importante a utilização de diferentes estratégias de ensino, além do conhecimento das concepções dos estudantes em relação a esse tópico, uma vez que o conceito de átomo contribui para o entendimento de diversos outros conceitos estudados na disciplina de Química.

A pesquisa realizada por Souza et al. (2006), teve como enfoque o estudo das contribuições e limitações no uso de analogias no processo de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos de Joseph Thomson e Niels Bohr. A justificativa pela escolha destes dois modelos está relacionada com as analogias que comumente são empregadas para exemplificar a construção dos modelos de átomo desses dois cientistas, ou seja, o pudim de passas e o modelo planetário, respectivamente. Os dados foram coletados por meio de um questionário, aplicado a duas amostras distintas de alunos da primeira série do ensino médio da região urbana de Belo Horizonte. Participaram da pesquisa um total de noventa e nove estudantes, sendo setenta e um alunos do turno noturno de uma escola pública e vinte e oito alunos do turno diurno de uma escola particular. Conforme os pesquisadores, ambas as turmas já haviam estudado a estrutura atômica, e o professor da escola particular havia desenvolvido o conteúdo sem a utilização de analogias. No entanto, o professor da escola pública havia mencionado a semelhança que o modelo de Thomson apresenta com um panetone, e o modelo de Bohr com o sistema solar.

A partir das respostas dos estudantes, foi possível a criação de três categorias de análise, sendo elas: analogia do pudim de passas, analogia do sistema solar e a utilização de duas analogias para o átomo. Considerando os resultados obtidos na análise das três categorias, as pesquisadoras concluem o trabalho evidenciando que os alunos de ambas as escolas não conseguem pensar de maneira crítica aquilo que lhes é ensinado em sala de aula.

Assinalam também que muitos estudantes não compreendem por que as analogias são utilizadas no contexto do ensino de Química bem como por qual motivo os modelos foram sendo substituídos e quais atributos do modelo anterior permaneceram no novo modelo.

Nesse mesmo contexto, desenvolvemos uma pesquisa com trinta e sete estudantes da primeira série do ensino médio, de uma escola pública situada na cidade de Júlio de Castilhos, RS (SILVA et al., 2012). Baseando-se em estudos realizados por diversos pesquisadores (GUTIÉRREZ et al., 2000; DE LA FUENTE et al., 2003; GOMES e OLIVEIRA, 2007; FRANÇA et al., 2009) que apontam as principais dificuldades que os estudantes apresentam na compreensão do conceito de átomo e de outros conceitos relacionados, o objetivo de nosso estudo foi detectar se os estudantes identificam as regiões (núcleo e eletrosfera) e partículas constituintes do átomo (prótons, elétrons e nêutrons), bem como qual modelo de átomo utilizam. A coleta dos dados para essa pesquisa foi feita por meio da análise de um único questionamento feito aos alunos, de maneira individual. A pergunta realizada foi “Como você imagina o átomo?”, sendo que os estudantes foram informados que em suas respostas poderiam utilizar desenhos, esquemas, símbolos ou simplesmente palavras. Pela análise das respostas podemos concluir que:

- os estudantes conseguem caracterizar as regiões do átomo;
- apresentam dificuldades na identificação das três partículas constituintes do átomo, sendo o elétron, a partícula mais citada;
- utilizam signos (letras, pontos, sinais positivo e negativo) para se referirem aos prótons, elétrons e nêutrons;
- o modelo mais utilizado para representar a estrutura da matéria é o proposto por Rutherford;
- confundem o átomo com a célula.

Através dos relatos obtidos podemos evidenciar que os estudantes apresentam concepções sobre a estrutura da matéria. Tais representações, mesmo que falsas para a Ciência, são um ponto de partida para o professor (ASTOLFI e DEVELAY, 2011) que deve buscar conhecê-las. A partir dessas ideias, destacamos a importância do professor em conhecer as concepções apresentadas pelos estudantes sobre o conceito de átomo. No capítulo 5, desta dissertação, iremos retomar e aprofundar a discussão sobre essa pesquisa.

De acordo com alguns dos estudos citados anteriormente, o processo de ensino e aprendizagem do conceito de estrutura atômica está amplamente ligado ao uso de analogias. Esse processo de relacionar conceitos por meio das analogias é um componente básico do pensamento humano (JUSTI, 2010b). Sendo assim, Mendonça et al. (2005, p. 2) sugere que as

analogias podem ser definidas como “sendo uma comparação entre dois domínios: um que é familiar ao aprendiz, denominado na literatura de “domínio da analogia”, e outro que não lhe é familiar, denominado de “domínio do alvo”.

Na verdade, podemos afirmar que as analogias servem como meio de ligação entre o conhecimento prévio apresentado pelo aluno e a teoria nova a ser aprendida. Seguindo esse raciocínio, destacamos a importância deste tipo de estratégia, bem como o cuidado que devemos ter ao utilizá-la. As diferentes analogias estabelecidas para a representação dos modelos de átomo podem ser abordadas no ambiente escolar, porém é necessário que haja uma reflexão de todos os envolvidos no processo de ensino e aprendizagem deste conteúdo em relação às suas limitações. Outro fator importante, é que o professor tenha domínio sobre quais os objetivos que deseja atingir com esse tipo de estratégia, além de estabelecer analogias que utilizem elementos que façam parte da rede de conhecimento de todos os estudantes (SOUZA, et al., 2006).

Sendo a analogia um tipo de recurso visual empregado como agente facilitador no entendimento da estrutura da matéria, destacamos a análise realizada no capítulo 3 desse trabalho, em relação aos recursos visuais utilizados na abordagem do conteúdo de modelos atômicos presentes nas cinco obras aprovadas pelo PNLD 2012. Por meio desta análise detectamos que apenas uma obra faz o uso de analogias, através de desenhos, para apresentar o conceito de átomo, como por exemplo, a semelhança entre o modelo proposto por Thomson e o panetone. Tal constatação vai de encontro com o estudo realizado por Monteiro e Justi (2000), que aponta que de maneira geral, o pouco uso de analogias pelos autores dos livros pode estar relacionado a fatores como:

- desconhecimento do potencial das analogias como modelos de ensino e aprendizagem;
- dificuldade em elaborar ou até mesmo utilizar boas analogias;
- ausência de textos explicativos abordando o papel análogo dessa estratégia.

Outros tantos aspectos poderiam ser citados como justificativa da pouca abordagem das analogias como ferramenta didática, mas nesse trabalho nosso objetivo é conhecer as ideias prévias apresentadas pelos alunos em relação ao conteúdo de estrutura atômica, em específico o modelo atômico de Bohr. Como já dissemos, esse conteúdo envolve o conhecimento de entidades microscópicas, que na maioria das vezes são representadas pelos estudantes através de seus modelos mentais.

Toda essa discussão nos leva a pensar: “Será que existe algum modelo exato para representar a estrutura do átomo?”. Este é mais um daqueles questionamentos que

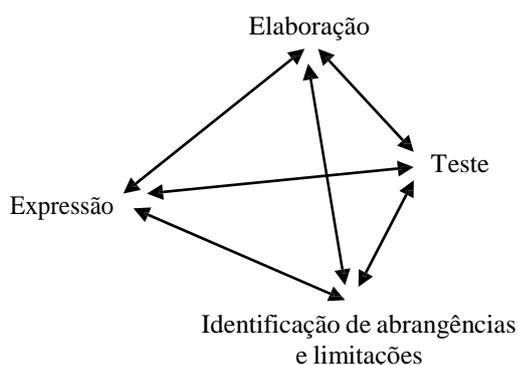
desencadeiam longas discussões e apontam para inúmeras respostas, mas na verdade, deveríamos nos preocupar em conhecer os diferentes modelos atômicos, como e em que contexto foram estabelecidos, quem os construiu e por qual motivo foram substituídos por outros. Em um ambiente de sala de aula, todas essas informações devem ser construídas e compartilhadas conjuntamente com os alunos, para que entendam que a Ciência está em constante modificação, sempre rompendo com teorias antigas na busca de respostas para novas indagações. Portanto, em relação ao átomo, segundo Maskill e Pedrosa de Jesus (1997 apud MELO, 2002, p. 13) “é preciso que os estudantes compreendam que o átomo não foi descoberto, mas que as teorias relacionadas com esse assunto é que foram construídas pelos cientistas”. A necessidade em explicar determinados comportamentos da matéria e desvendar fenômenos foi o ponto culminante para o desenvolvimento de novas pesquisas e a criação de vários modelos.

Todas essas pesquisas desenvolvidas, que contribuíram de certa forma para a evolução na construção de diferentes modelos de átomo, foram relatadas em textos científicos. Atualmente, encontramos diversos desses textos disponíveis que abordam esses estudos. Todavia, poucos discutem como a construção dos modelos realmente se processa (JUSTI, 2010a). A falta de documentos que descrevam essa etapa tão importante na elaboração de modelos pode afetar o processo de ensino e aprendizagem dos estudantes em sala de aula. Podemos apontar como principal problema, as noções que muitos estudantes apresentam em relação à Ciência, ou seja, a ideia de que ela está sempre pronta e acabada. Dessa forma, os PCNEM destacam a importância da abordagem diferenciada desse assunto, sendo assim (BRASIL, 2002).

É fundamental que se mostre através da história, as transformações das ideias sobre a constituição da matéria, contextualizando-as. A simples cronologia sobre essas ideias, como é geralmente apresentada no ensino, é insuficiente, pois pode dar uma ideia equivocada da Ciência e da atividade científica, segundo a qual a Ciência se desenvolve de maneira neutra, objetiva e sem conflitos, graças a descobertas dos cientistas, isoladas do contexto social, econômico ou político da época (BRASIL, 2002, p. 96).

O que pretendemos demonstrar com essa discussão é a relevância em despertar o interesse do aluno pela Ciência, nesse caso a importância dos estudos referentes à estrutura atômica, de forma que ele tenha pensamento crítico, defenda sua opinião e construa seus próprios modelos. Sabemos que os modelos criados na tentativa de representar o átomo, estão baseados em algo abstrato, em nossas ideias, e que as teorias são o conjunto de enunciados que descrevem e embasam essa estrutura (GARCIA, 1977 apud MORTIMER, 2000, p. 111).

Por fim, em relação a tudo o que discutimos até agora, principalmente na tentativa de encontrar possíveis respostas ao questionamento realizado nesse trabalho, defendemos que o uso e a construção de modelos no ensino de Química devem basear-se, sempre que possível, nas quatro etapas descritas por Justi (2010a), conforme Esquema 2.



Esquema 2 - Relação entre as principais etapas envolvidas na construção de modelos.  
Adaptado de JUSTI, 2010a.

Tais etapas, não são como regras que devem ser seguidas rigorosamente, mas sim caminhos que deveriam ser respeitados em relação à criação de modelos. Pela análise do Esquema 2, podemos perceber que todas as etapas estão interligadas entre si, o que demonstra que o ato de elaborar modelos é um processo dinâmico, que envolve inúmeras habilidades do indivíduo que o manipula. Cada etapa, como sugere Justi (2006; 2010a; 2010b) pode ser definida da seguinte maneira:

- **Elaboração:** esta primeira etapa consiste na elaboração de um modelo mental, a partir de observações iniciais sobre a entidade a ser modelada. Tais observações podem ser de dois tipos, aquelas que o indivíduo já possui (conhecimento prévio) e aquelas que ele passa a ter naquele momento com o objeto que irá modelar. Essa etapa é muito complexa, pois está amplamente ligada a estrutura cognitiva do indivíduo que está construindo o modelo. Assim, podemos afirmar que o processo de elaboração é um processo pessoal;

- **Expressão:** neste ciclo, o indivíduo decide qual será a forma de representação mais adequada para seu modelo. Tal expressão pode ocorrer a partir do uso de diferentes modos de representação, como por exemplo, concreto, bidimensional, virtual, verbal, matemático, visual, entre outros. A escolha por qual modo utilizar depende do modelo mental criado;

- Teste: esta etapa está relacionada à comprovação do modelo proposto. Existem dois tipos de comprovação: o primeiro está relacionado com experimentos mentais<sup>3</sup>, e o segundo com a realização de experimentos. Essas duas linhas de comprovação dependem da entidade que está sendo modelada e das condições disponíveis para a sua realização. No entanto, em qualquer um dos dois casos, se o modelo apresentar falhas em relação às previsões que o sustenta, o indivíduo deve realizar modificações em seu modelo para que possa incorporar o processo. Em casos extremos, o modelo é rejeitado, sendo assim, volta-se à primeira etapa para a posterior elaboração de um novo modelo;

- Identificação de abrangência e limitações: o modelo só chegará a esta etapa se obteve êxito na anterior. A verificação da limitação e abrangência ocorre a partir da contraposição do modelo com seu objetivo e da tentativa de utilização do modelo em diferentes contextos. Nesse passo, o indivíduo após estar convencido da validade de seu modelo, irá tentar convencer outros indivíduos do mesmo. Esse processo deve ser aplicado também quanto às limitações que este modelo pode apresentar.

As quatro etapas para a elaboração de modelos, descritas por Justi (2006, 2010a, 2010b) em seus trabalhos, assinalam com clareza quais os cuidados que devemos ter na hora de construir nossos modelos, bem como quais objetivos desejamos alcançar com eles. Destacamos essa forma de trabalho, por acreditarmos que cada uma dessas etapas contempla diferentes habilidades e características apresentadas pelos seres humanos, como por exemplo, capacidade de abstração, pensamento crítico, argumentação, refutação, entre outras, além de aproximar aqueles que criam modelos da essência das Ciências, que é estar em constante mudança, rompendo com velhas teorias.

Independente da maneira utilizada para a elaboração de modelos, percebemos que esse tipo de atividade é muito complexa. No ensino de Química, não é diferente, a base dessa Ciência está centrada na criação e utilização de modelos. Atualmente, é preocupante a forma como o conceito de átomo é desenvolvido em sala de aula. Os estudos apresentados nesse capítulo evidenciam inúmeros problemas apresentados pelos estudantes em relação a esse assunto. Talvez, o ponto principal dessa dificuldade pode estar relacionado com a forma como os alunos constroem seus modelos mentais, a partir de seus conhecimentos prévios e aquilo que é repassado pelo professor em sala de aula, o que muitas vezes resulta na elaboração de conceitos distorcidos e modelos equivocados. Esse conjunto de fatores evidencia a

---

<sup>3</sup> Conforme Kiouranis, Souza e Santin Filho (2010, p. 1507-1), todo experimento é um experimento mental, pela simples razão de que o cientista precisa planejar sua atividade, o que já exige uma intensa elaboração mental de natureza antecipatória.

importância da atuação docente na tentativa de apontar possíveis soluções para essas dificuldades apresentadas pelos estudantes.

Neste trabalho, buscamos desenvolver diferentes atividades experimentais como estratégia para a abordagem dos conceitos relacionados ao modelo atômico proposto por Bohr, além da construção dos diferentes modelos atômicos ensinados em sala de aula, todas elas com o objetivo de contribuir na aprendizagem dos estudantes. Essas atividades serão discutidas e analisadas nos capítulos 4 e 5 desse trabalho.



## CAPÍTULO 2 – DO ÁTOMO ÀS CORES

Quando utilizamos diversos produtos disponíveis no mundo moderno, sejam eles plásticos, combustíveis, alimentos, roupas, eletrônicos, medicamentos ou outras substâncias, provavelmente não pensamos em sua natureza química. Durante os últimos dois séculos, cientistas descobriram que os átomos obedeciam a regras de combinação ao formarem moléculas. O conhecimento desses princípios tem levado a criação de muitos compostos moleculares com propriedades úteis que contribuem para a produção de novos produtos (BAIRD, 2006).

Desvendar os mistérios de um mundo com propriedades tão peculiares não foi tarefa fácil, embora os gregos Demócrito e Leucipo tenham suposto corretamente a existência de átomos como partículas fundamentais da matéria, eles não poderiam imaginar algo tão sutil como a estrutura de um átomo. Esses átomos são constituídos de partículas menores e mais leves, características importantes para entendermos o comportamento físico e químico da matéria.

Conhecer a estrutura da matéria e sua natureza química contribui para a interpretação e entendimento de diversos fenômenos que estão relacionados com esse assunto, presentes em nosso cotidiano. Neste capítulo apresentaremos um breve estudo de alguns pontos importantes que estão relacionados com a estrutura da matéria e suas implicações no dia a dia, como por exemplo, a existência de diversas cores.

### **2.1 Estrutura atômica: um breve histórico**

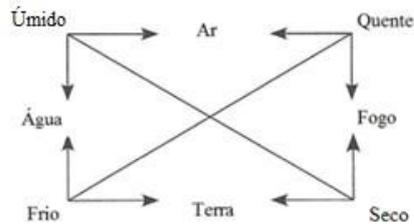
A origem da matéria, suas transformações e a caracterização das diferentes espécies de matéria constituem o campo de estudo da Química (MAAR, 2008). Chamamos de matéria, todas as coisas que nos rodeiam, tem massa e ocupam lugar no espaço. A natureza e a divisibilidade da matéria eram uma questão tratada com muita relevância desde a Grécia antiga. Na busca de um elemento primordial a partir do qual todo objeto visível seria derivado, e a constituição do universo conhecida, os filósofos gregos acreditavam que a

natureza pudesse ser explicada a partir de poucos elementos, surgiram assim, duas grandes correntes filosóficas, descritas a seguir (CARUSO e OGURI, 1997).

### 2.1.1 O átomo e os gregos

Tales de Mileto (624 – 546 a.C.) foi o primeiro grego a lançar a ideia de elemento primordial. Ele acreditava que esse elemento seria a água, sobre a qual a terra flutua e é o começo de todas as coisas. Para Anaxímenes de Mileto (570 – 478 a.C.), Xenofones da Jônia (560 – 478 a.C.) e Heraclito de Éfeso (540 – 480 a.C.) esse elemento primordial constituinte da matéria seria, para cada um respectivamente a água, a terra e o fogo. Essa corrente filosófica ficou conhecida como monista, pois acreditava que somente um “ente” seria o responsável pela formação de toda a matéria existente (MAAR, 2008).

A outra corrente que surgiu aproximadamente na metade do século V a.C. tentava explicar a matéria como uma porção única, subdividida em partes cada vez menores. O princípio fundamental do universo para Anaxágoras de Clazomene (500 – 428 a.C.) era o espírito. Ele acreditava que esse espírito era formado por um tipo de semente contendo outras em seu interior, que por sua vez teriam outras menores, e assim infinitamente (FARIAS, 2007). Baseado em uma síntese das proposições de outros pensadores gregos, Empédocles de Akragas (490 – 431 a.C.) apresenta a teoria dos quatro elementos formadores do universo – água, terra, fogo e ar – sugerindo que esses elementos eram mantidos unidos ou separados por duas forças opostas, o amor e o ódio. A teoria dos quatro elementos também foi adotada com algumas modificações por Aristóteles (384 – 322 a.C.), que admitia que os quatro elementos essenciais na verdade seriam o frio, o quente, o úmido e o seco, que quando reunidos aos pares formavam os elementos de Empédocles, conforme Esquema 3. Essa corrente filosófica, a qual pertencia Empédocles e Aristóteles ficou conhecida como pluralismo.



Esquema 3 - Relação entre os elementos propostos por Empédocles e Aristóteles.  
Adaptado de MAAR, 2008.

A história do mundo contemporâneo sofreu influências não apenas da história ocidental, mas também de algumas civilizações orientais. Os chineses, assim como os gregos que acreditavam na corrente pluralista, defendiam a formação do universo a partir dos elementos básicos água, madeira, fogo, terra e metal, governados pelos princípios opostos da dualidade, o *Yin* e o *Yang*. Já o pensamento dos hindus pode ter sido influenciado por um intercâmbio entre a Grécia e a Índia, possivelmente através da Pérsia. Eles acreditavam que os quatro elementos constituintes do universo combinavam-se aos cinco sentidos: éter-audição, ar-tato, fogo-visão, água-paladar e terra-olfato (MAAR, 2008).

A noção de que o universo era formado por átomos foi defendida pelos filósofos gregos, Leucipo (460 – 370 a.C), Demócrito. (470 – 380 a.C.) e Epicuro (341–270 a.C.). Leucipo acreditava que o universo era infinito, possuindo uma parte cheia, formada por partículas fundamentais, e outra vazia, o vácuo. Essas partículas fundamentais diferiam umas das outras em suas características físicas, explicando, com essas diferenças, as diversas propriedades das substâncias (CHESTER, 1979). Nascido em Abdera, Demócrito defendia que toda a matéria se subdividia em átomos eternos e indestrutíveis, e que diferentes tipos de átomos diferem em forma, tamanho e massa (CHASSOT, 2004). Além disso, propôs chamar de átomo a partícula fundamental de Leucipo, originária do grego que significa não divisível (FERREIRA, 2010). Os estudos realizados por Epicuro se assemelhavam em alguns aspectos com os de Demócrito. A diferença estava na afirmação de que os átomos se movimentavam com a velocidade do pensamento e que tinham um limite para o tamanho das partículas agregadas (MAAR, 2008).

### 2.1.2 O atomismo de John Dalton

A ideia do átomo como partícula indivisível da matéria permaneceu até o início do século XIX, com o surgimento do chamado atomismo científico. O atomismo científico surgiu com o químico inglês John Dalton em 1803. Os estudos realizados por Dalton foram influenciados pelas chamadas leis ponderais – lei das proporções definidas, lei das proporções equivalentes e lei das proporções múltiplas – propostas no final do século XVIII e início do século XIX (VIANA, 2007).

De acordo com Martins, (2001), o conjunto de afirmações feitas por Dalton sobre o átomo contribuiu para a formulação da chamada “teoria atômica de Dalton” baseada nos seguintes postulados:

Os elementos químicos consistem de discretas partículas de matéria, os átomos, que não podem ser subdivididos por qualquer processo químico conhecido e preservam as suas individualidades nas reações químicas. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos, particularmente em peso – diferentes elementos têm átomos diferindo em peso. Cada elemento é caracterizado pelos pesos de seus respectivos átomos (MARTINS, 2001, p. 9).

Após os trabalhos realizados por Dalton, que contribuíram para a interpretação da estrutura da matéria de uma forma mais real e objetiva, a Química passou a ter uma estruturação lógica e racional, sem o tratamento místico da velha Alquimia. Iniciava-se então, uma nova era na Ciência. Enquanto alguns cientistas procuravam demonstrar que a matéria era formada por átomos, outros pesquisavam e apresentavam evidências de que o átomo era formado por partículas menores (FARIAS, 2008).

### 2.1.3 Passas em um pudim

Na década de 1870, o físico inglês William Crookes, após a realização de uma série de trabalhos relacionados à passagem de descargas elétricas através de tubos de vidro (ampolas de Crookes) contendo gases rarefeitos, sugeriu a existência dos chamados raios catódicos. Crookes, concluiu que esses gases eram constituídos por partículas ou moléculas (Figura 1),

denominadas de quarto estado da matéria, isto é, um estado ultragasoso que representava a matéria radiante (MARTINS, 2001).

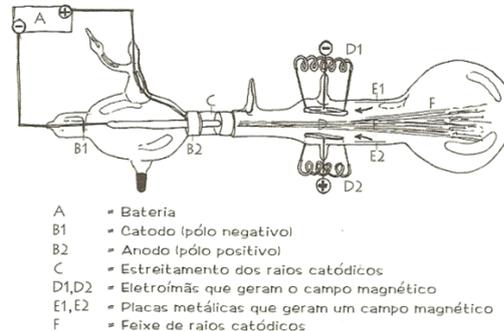


Figura 1 - Ampola de Crookes.  
(ABDALLA, 2006a)

As experiências realizadas com as ampolas de Crookes tornaram possíveis duas importantes observações: a do raio-X por Röntgen e do elétron por Joseph John Thomson. Em 1859, os físicos alemães Plücker e Geissler introduziram um imã no interior dessa ampola e sugeriram que os raios catódicos observados por Crookes, na verdade deveriam ser constituídos por partículas carregadas (MARTINS, 2001). Outro pesquisador que contribuiu para o estudo do elétron foi o físico francês Jean Perrin. Assim como seus colegas alemães, mostrou que os raios da ampola de Crookes eram formados de corpúsculos de eletricidade negativa.

As investigações realizadas por diversos cientistas contribuíram para que Thomson, em 1904 formulasse um novo modelo para a estrutura do átomo, admitindo sua divisibilidade e o elétron como partícula fundamental de sua composição (KRAGH, 2001). Segundo Abdalla (2006a), o modelo teórico proposto por Thomson ficou conhecido como “*plum-pudding*” (pudim de passas), pois:

...o átomo seria formado por uma massa uniforme carregada positivamente, suplementada por cargas esparsas carregadas negativamente. Os elétrons seriam atraídos ao centro da distribuição de cargas positivas e repelidos entre si pela lei de Coulomb<sup>4</sup>. O estado estável do átomo nesse modelo seria atingido quando as duas forças, de atração e de repulsão, se equilibrassem (ABDALLA, 2006a, p. 35).

<sup>4</sup> Segundo a lei de Coulomb, a força entre duas partículas carregadas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

Dessa forma, o modelo atômico proposto por Thomson (Figura 2) chega à comunidade científica, substituindo o modelo de Dalton.

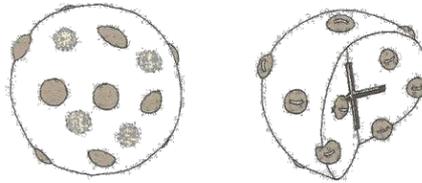


Figura 2 – Representações do modelo atômico de Thomson.  
(ABDALLA, 2006a)

Thomson ainda contribuiu para a Ciência ao calcular um valor numérico para a relação carga do elétron e sua massa ( $e/m$ ), após a aplicação de um campo elétrico e um campo magnético aos raios catódicos. O valor desta relação carga/massa é de  $-1,76 \times 10^8 \text{ C.g}^{-1}$ , (RUSSEL, 1994).

Entre os anos de 1909 a 1911, a natureza elétrica e a massa do elétron foram determinadas pelo físico norte-americano Robert Millikan, através da realização da experiência das gotículas de óleo (JOESTEN e WOOD, 1996; FRANKLIN, 1997; PEARSON, 2006). Após suas observações, Millikan propôs que a carga elétrica apresenta um valor de  $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ . Combinando o valor da carga do elétron obtida com a relação carga/massa de Thomson, a massa do elétron é de  $9,1 \times 10^{-28} \text{ g}$ .

Aproximadamente no mesmo período em que a natureza da eletricidade estava sendo esclarecida, experimentos com tubos de descarga de raios também foram utilizados para evidenciar a existência de partículas carregadas positivamente. Uma complementação às experiências de Crookes foi feita em 1886 por Eugen Goldstein. O físico alemão ao perfurar o cátodo de um dos tubos de Crookes percebeu que, a partir dessas perfurações, havia o aparecimento de um tipo de radiação que apresentava caráter elétrico diferente dos raios descritos por Crookes. Estas radiações foram denominadas de raios canais ou anódicos por Goldstein, pois saíam das perfurações do cátodo e apresentavam caráter positivo (MARTINS, 2001). Esse seria o primeiro indício da existência de uma partícula positiva.

### 2.1.4 O átomo nuclear

Em 1890, os cientistas Henri Becquerel, Pierre e Marie Curie, observaram que certos elementos são radioativos. Como sugere Russel (1994, p. 214), “entende-se por elemento radioativo aqueles que emitem radiação de alta energia, da qual há três tipos – partículas alfa ( $\alpha$ ), partículas beta ( $\beta$ ) e os raios gama ( $\gamma$ ). Uma partícula alfa carrega uma carga positiva e tem uma massa que é muito maior do que um elétron”.

Os estudos sobre a radioatividade contribuíram para que a Ciência avançasse na busca de novas explicações para o entendimento da estrutura da matéria. A ideia de que uma partícula positiva também constitui o átomo surgiu com os estudos realizados por Ernest Rutherford, Hans Geiger e Ernest Marsden a partir de 1901 (RUTHERFORD, 1911). Os três cientistas estudaram o espalhamento de partículas  $\alpha$ , lançando um feixe dessas partículas emitidas por uma pequena quantidade do elemento radioativo polônio, colimadas por um par de diafragmas, em folhas finas de diferentes materiais como mica, papel e ouro. Após alguns testes com folhas de ouro, observaram que, embora muitas partículas atravessassem as folhas finas em linha reta, algumas sofreram desvios com diferentes ângulos (MAHAN e MYERS, 1995). Tal fato intrigou Rutherford e seus colaboradores, que desenvolveram um aparelho para medir o ângulo do desvio sofrido pelas partículas  $\alpha$ . Essas partículas foram identificadas por um clarão formado sobre um anteparo revestido com uma camada de sulfeto de zinco fosforescente (Figura 3).

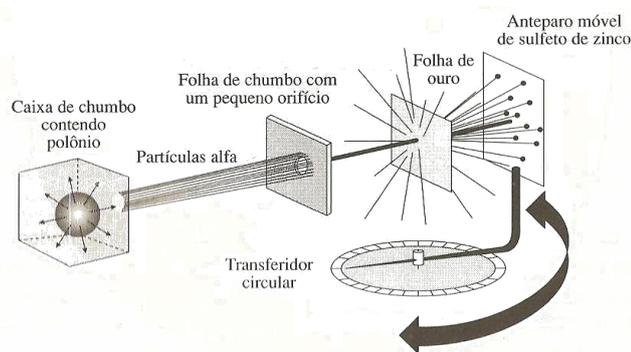


Figura 3 - Experiência de espalhamento de partículas alfa de Rutherford-Geiger-Marsden. (RUSSEL, 1994)

A partir dos resultados obtidos, Rutherford analisou o modelo de átomo proposto por Thomson e argumentou que esse apresentava divergências em relação ao espalhamento das partículas  $\alpha$ . Para Rutherford, os átomos deveriam ser irregulares com relação à distribuição de massa e de densidade de carga. Em 1911, para explicar o resultado das colisões das partículas  $\alpha$ , Rutherford idealizou um modelo para o átomo, segundo o qual esse modelo seria um sistema planetário, em escala menor do sistema que conhecemos, tendo um campo de força central carregado positivamente, o núcleo. Já os elétrons girariam ao redor do núcleo em órbitas circulares (Figura 4). Estabelecia-se assim a noção de núcleo atômico, que concentraria segundo Rutherford, praticamente toda a massa do átomo, ficando os elétrons orbitando ao seu redor (EISBERG e RESNICK, 1985).

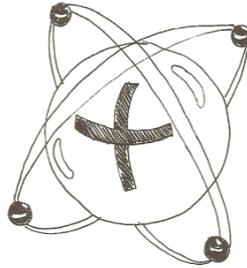


Figura 4 – Representação do modelo atômico de Rutherford.  
(ABDALLA, 2006a)

Rutherford acabou criando um paradoxo ao admitir o movimento de rotação dos elétrons em torno do núcleo. Do ponto de vista da Física clássica, toda a partícula elétrica em movimento circular, como os elétrons, ao serem submetidas a uma força de atração coulombiana do núcleo positivo, está constantemente emitindo energia. Se o elétron segue perdendo energia, sua velocidade de rotação ao redor do núcleo teria de diminuir com o tempo. Desse modo, o elétron acabaria indo de encontro ao núcleo, descrevendo um movimento em espiral (FIGUEIREDO, 2008). Tal fato não é observado, pois o átomo, como se sabe, é uma estrutura estável.

As lacunas deixadas pelo modelo de Rutherford foram preenchidas pelo surgimento de novos modelos. De certo modo, a evolução dos modelos atômicos para explicar a estrutura da matéria ocorreu de diferentes formas, vários postulados foram criados, esses vigoraram até certo tempo, pois acabavam sendo “derrubados” por outros modelos, geralmente baseados em métodos experimentais, que eram mais aceitos pela comunidade científica. Sabe-se que toda

teoria tem seu período de desenvolvimento gradativo, após o qual poderá sofrer declínio. Quase todo o avanço da Ciência surge da crise de uma velha teoria, através de um esforço para encontrar uma saída das dificuldades criadas (KUHN, 2006).

## **2.2 A mecânica quântica e a sua influência na criação de novos modelos para o átomo**

Dois anos após o anúncio do modelo atômico proposto por Rutherford, o físico dinamarquês Niels Bohr tentou resolver os problemas que o modelo planetário de Rutherford vinha apresentando, referentes à estabilidade dos elétrons em torno do átomo. Convicto de que a mecânica clássica não seria capaz de explicar tais paradoxos, Bohr imaginou uma variação do modelo de Rutherford, baseando-se nas teorias da nova mecânica, a chamada mecânica quântica. Para compreendermos o novo modelo de átomo proposto por Bohr, precisamos entender o que é a mecânica quântica, quais ideias a fundamentam como teoria e quais as revoluções que esse novo ramo da Física causou na Ciência.

### **2.2.1 O nascimento da mecânica quântica**

Na primeira parte do século XX, a Física sofreu uma revolução que resultou na influência de outros campos da Ciência. Esta revolução atingiu inicialmente a mecânica, que é definida como o “ramo da Física que procura estabelecer regras gerais para prever o comportamento de um sistema físico sob a influência de qualquer tipo de interação com seu ambiente” (LOPES, 2006). Essa mecânica, também conhecida como mecânica clássica, baseada nas leis do movimento de Newton era inadequada para prever e explicar o comportamento de partículas muito pequenas como os átomos e seus constituintes. Dessa forma, surge a mecânica quântica com o objetivo de estudar o mundo microscópico.

A mecânica quântica tem como uma das suas principais características, os estudos realizados por Max Planck em 1900, que anunciou ao mundo científico suas observações sobre a natureza da radiação, emitida por um corpo sólido (PAULING, 1972). Planck observou que a matéria, ao ser aquecida ou resfriada, absorve ou emite energia térmica descontinuamente em “pequenas porções”, em outras palavras, como afirma Abdalla (2006a):

A absorção e a emissão de energia pela matéria dá-se através de “pacotes discretos”, ou seja, quantidades bem definidas de energia. Quando vemos uma brasa brilhando na fogueira, percebemos a emissão de calor – radiação infravermelha – como um processo contínuo; entretanto, isso se deve ao enorme número de “pacotes de energia” emitidos pelos átomos de carbono do carvão. No nível atômico, a emissão dá-se efetivamente através de “pacotinhos de calor” (ABDALLA, 2006a, p. 23).

Planck procurava uma maneira para explicar as radiações emitidas pelos corpos ao se tornarem luminosos. Ele conseguiu derivar uma fórmula do espectro dessas radiações em função da temperatura do corpo que estava de acordo com a experiência, desde que admitisse que a radiação fosse emitida descontinuamente em pacotes discretos de energia. Os pacotes discretos de energia receberam o nome de *quantum*<sup>5</sup>. O físico alemão também propôs que os *quantas* associados a uma frequência particular  $\nu$  de luz possuem todos a mesma energia e que essa energia  $E$  é diretamente proporcional a  $\nu$  (BEISER, 1969). Na equação  $E=h\nu$ , está representada a relação entre a energia de um *quantum* da luz, cuja frequência é  $\nu$ , emitido ou absorvido e  $h$  é a constante de proporcionalidade, base de toda a teoria quântica, também conhecida como constante de Planck.

Outro efeito quântico relevante na construção da mecânica quântica foi descrito por Albert Einstein. Desde 1902, estudos evidenciaram que a luz ao incidir sobre uma superfície metálica limpa e no vácuo, provocava a emissão de elétrons da mesma, tal efeito foi denominado efeito fotoelétrico. Em 1905, Einstein concluiu que esse efeito fotoelétrico poderia ser explicado se a luz fosse constituída por partículas discretas, de energia  $h\nu$ . Ele propôs que essa energia seria transferida para um elétron quando ele colidisse com a superfície do metal, certa quantidade desta energia seria utilizada para superar as forças atrativas entre o elétron e o metal e, o restante da energia apareceria no elétron ejetado (PAULING, 1972).

Esses dois pontos da mecânica quântica, juntamente com o modelo de átomo proposto por Rutherford foram importantes para influenciar as pesquisas realizadas por Niels Bohr, que em 1913, enunciou um novo modelo, detalhando o comportamento dos elétrons nos átomos.

---

<sup>5</sup> A palavra *quantum* deriva do latim, e significa uma “porção de algo”.

### 2.3 Bohr e o novo modelo de átomo

O físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr, nasceu em Copenhague em outubro de 1885. Entrou para a Universidade de Copenhague em 1903, escolhendo a Física como tema principal. Com seu primeiro trabalho de pesquisa, em 1906, Niels Bohr foi agraciado com uma medalha de ouro pela Academia de Ciências pelos estudos realizados sobre as vibrações de jatos de água como método de determinação da tensão superficial de líquidos (MARTINS, 2001).

Niels Bohr, em 1911, recebeu o título de doutor e partiu rumo à Inglaterra com a intenção de trabalhar com Thomson, que na época era diretor do laboratório de Cavendish. Segundo Abdalla (2006a), o primeiro encontro de Bohr e Thomson não teria sido muito amigável. Bohr teria entrado na sala de Thomson, aberto o livro escrito por este, intitulado “Condução da eletricidade em gases”, apontado uma fórmula e dito: “Isto está errado”. Após esse episódio, Thomson demonstrou pouco interesse sobre os estudos da tese de doutorado de Bohr, em relação à teoria dos elétrons.

As revoluções propostas pela mecânica quântica exigiam a implantação rápida de mudanças em relação aos estudos da estrutura dos átomos. Bohr insistia em dizer que não havia mais sentido tratar a energia dos elétrons com base na Física clássica, mas Thomson persistia na ideia de que seu modelo se adequava a explicar diversos fatos experimentais, e desconfiava das ideias revolucionárias de Bohr. Em 1912, Bohr se deslocou para Manchester com o objetivo de trabalhar com Rutherford, dedicando-se aos estudos da estabilidade do átomo. Desta união surgiram os importantes trabalhos de Bohr sobre a estrutura atômica, dentre eles um dos mais famosos “Sobre a constituição de átomos e moléculas”.

No ano de 1913, convencido de que a mecânica quântica auxiliaria na interpretação dos problemas apresentados pelo modelo atômico proposto por Rutherford, Bohr imaginou uma variação para este modelo. O modelo atômico de Bohr sugeria que a soma das cargas do núcleo carregado positivamente no centro e de um elétron, carregado negativamente, orbitando em torno, como descrito por Rutherford, tinha um valor igual a zero, sendo o átomo eletricamente neutro. Além disso, o núcleo do átomo de Bohr era menor que o descrito por Rutherford (BOHR, 2001). Essas observações levaram o físico dinamarquês a estabelecer um novo modelo para o átomo, conforme Figura 5.

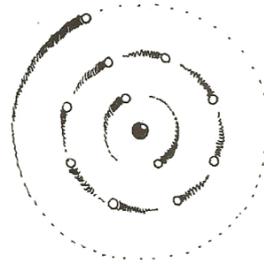


Figura 5 – Representação do modelo de átomo proposto por Bohr.  
(ABDALLA, 2006a)

Considerando esses fatos, Bohr descreveu seu novo modelo de átomo baseado em quatro postulados. Segundo Russel (1994), Bohr começou admitindo que:

um gás emite luz quando uma corrente elétrica passa através deste, devido aos elétrons em seus átomos primeiro absorverem energia da eletricidade e posteriormente liberarem aquela energia na forma de luz. Contudo, a radiação emitida é limitada para um certo comprimento de onda. Havia somente uma explicação racional para os discretos comprimentos de onda; então, deduzindo que em um átomo, um elétron não está livre para ter qualquer quantidade de energia. Preferencialmente, um elétron em um átomo pode ter somente certas quantidades específicas de energia; isto é, a energia de um elétron em um átomo é quantizada (RUSSEL, 1994, p. 232).

Em seu primeiro postulado, Bohr sugeriu que um elétron em um átomo se move em uma órbita circular ao redor do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, enquanto permanecer na mesma órbita não emite energia (LEE, 1996). Essas órbitas correspondem aos estados estacionários. O segundo postulado introduz a noção de quantização (HALLIDAY et al., 2009), e se baseava na ideia de que um elétron pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital ( $L$ ) for um múltiplo inteiro de  $\hbar$  (constante de Planck dividida por  $2\pi$ ). O problema da estabilidade de um elétron se movendo em uma órbita circular, devido à emissão de radiação eletromagnética pelo elétron, apresentado pelo modelo atômico de Rutherford foi resolvido pelo terceiro postulado. Para explicar esse problema, Bohr enunciou que apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética, portanto sua energia total ( $E$ ) permanece constante (EISBERG e RESNICK, 1985). Conforme Russel (1994), o último postulado de Bohr descreve que um átomo normalmente se encontra em seu estado fundamental, ou seja:

...no estado no qual todos seus elétrons estão nos níveis de energia mais baixos que lhes são disponíveis. Quando um átomo absorve energia de uma chama ou descarga elétrica, alguns de seus elétrons ganham energia e são elevados a um nível de energia maior, ou seja, em um estado excitado. Alguns dos níveis de energia mais baixos ficam livres e, assim, um elétron pode cair de um nível mais alto, designado por  $(E_2)_{\text{elétron}}$ , para um nível de energia mais baixo,  $(E_1)_{\text{elétron}}$ . Quando isso ocorre, a energia é liberada do átomo em uma quantidade igual a  $(E_2)_{\text{elétron}} - (E_1)_{\text{elétron}}$ , isto é, a diferença entre as duas energias do elétron (RUSSEL, 1994, p. 233).

De maneira simplificada, podemos admitir que para os elétrons saltarem para um nível mais externo, ocorre a absorção de energia em quantidade suficiente para promover esse salto. Ao retornarem ao seu estado fundamental, liberam a energia absorvida, durante o processo na forma de fótons. Tal fato pode ser observado na Figura 6 e representado pela equação matemática  $(E_2)_{\text{elétron}} - (E_1)_{\text{elétron}} = h \cdot \nu$  (BOHR et al., 1924).

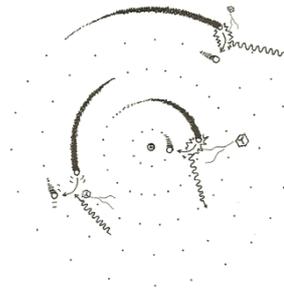
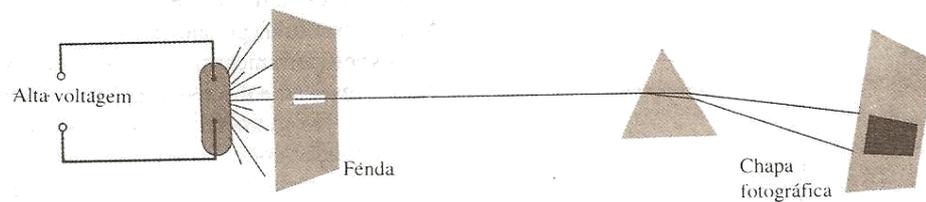


Figura 6 – Representação do salto quântico dos elétrons.  
(ABDALLA, 2006a)

Os postulados criados por Bohr para explicar seu novo modelo para o átomo envolveram conhecimentos da mecânica clássica e da mecânica quântica. Observamos que a suposição de que o elétron se movimentaria em uma órbita obedece à mecânica clássica, no entanto a ideia de quantização do momento angular orbital é descrita pela mecânica quântica. Embora a teoria de Bohr tenha sido abandonada, ela contribuiu significativamente para a compreensão da estrutura atômica. Todos esses fatores colaboraram para que a Ciência avançasse rumo a novos estudos em busca da explicação mais coerente para o entendimento do átomo.

### 2.3.1 O átomo de hidrogênio

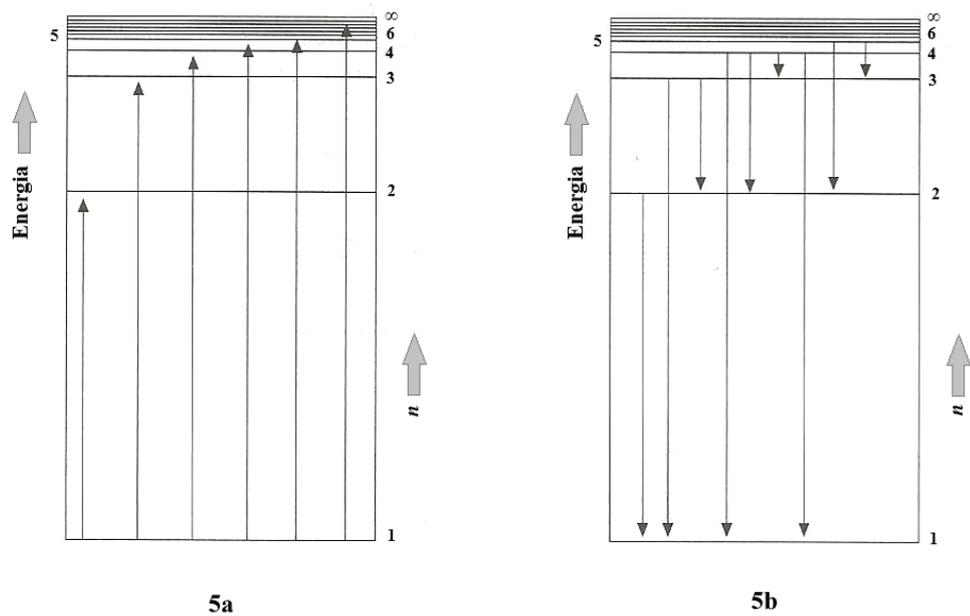
O estudo da energia emitida por elétrons excitados, descritos pelos postulados de Bohr, possibilitou o conhecimento da estrutura atômica. Essa energia emitida por alguns átomos resulta em linhas de frequências determinadas, os chamados espectros de linha do átomo. O espectrógrafo utilizado para a obtenção dos espectros de linha dos diferentes átomos está representado no Esquema 4.



Esquema 4 – Representação dos elementos essenciais de um espectrógrafo e fonte de luz.  
(MAHAN e MYERS, 1995)

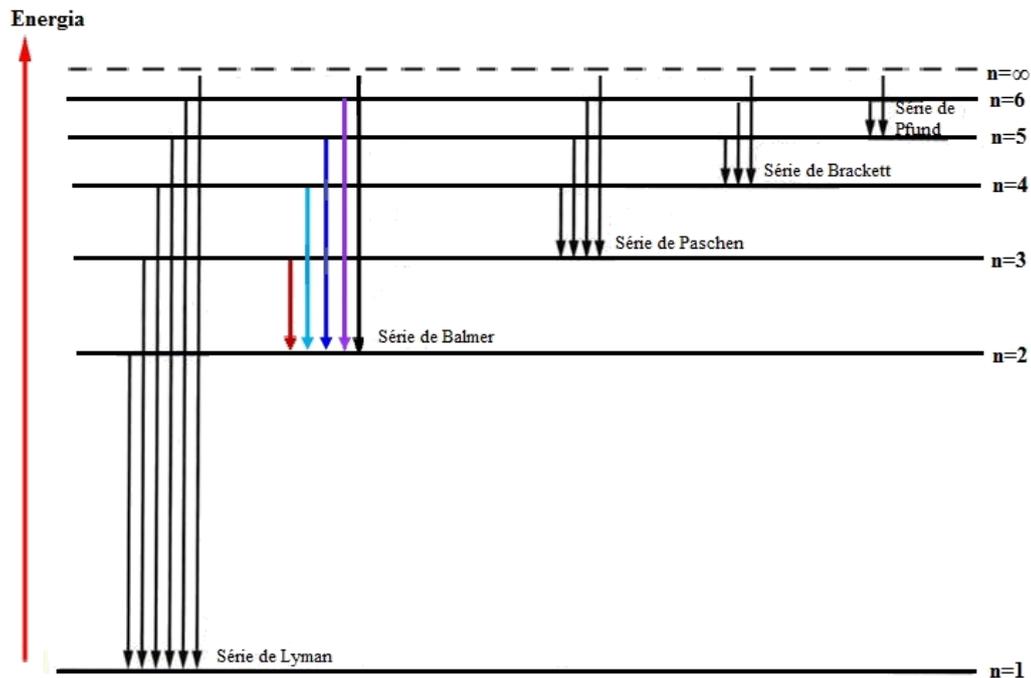
O primeiro sucesso da teoria de Bohr foi a tentativa de explicar o espectro de emissão do átomo de hidrogênio. Alguns átomos do gás hidrogênio contidos em um tubo de descarga, quando submetidos à passagem de uma descarga elétrica, utilizando o espectrógrafo, podem adquirir um excesso de energia e emitir luz nas regiões do visível, ultravioleta (UV) ou infravermelho. A luz proveniente do tubo de descarga passa através de fendas e por um prisma, dispersando a radiação nas suas várias frequências. Essas radiações aparecem na forma de linhas na placa fotográfica, em diferentes posições (MAHAN e MYERS, 1995).

De acordo com Bohr, o elétron do átomo de hidrogênio no estado fundamental pode absorver várias quantidades discretas de energia e, assim se elevar a um nível de energia mais alto. Cada linha num espectro de hidrogênio, denominada série, resulta da emissão de luz de um comprimento de onda específico, processo que ocorre quando elétrons sofrem uma transição eletrônica específica de um nível para outro. Analisando o Esquema 5, observamos que os elétrons do átomo de hidrogênio ao absorverem energia transitam do nível mais baixo de energia ( $n=1$ ) para níveis mais altos de energia (5a). Algumas transições eletrônicas podem ocorrer do nível mais alto de energia, para os níveis mais baixos (5b).



Esquema 5 - Transições eletrônicas em um átomo de hidrogênio.  
Adaptado de RUSSEL, 1994.

Cada uma das séries conhecidas do espectro de hidrogênio surge de um conjunto de transições eletrônicas do estado inicial pela absorção de fótons até o estado final das transições, no qual ocorre a emissão de fótons. As linhas de absorção que começam no nível  $n=1$  e as linhas de emissão que terminam no nível  $n=1$ , por exemplo, pertencem à chamada série de Lyman, que recebeu esse nome em homenagem ao pesquisador que primeiro estudou essas linhas. Da mesma forma, para a série de Balmer, o nível corresponde a  $n=2$ , o nível de base  $n=3$  para a série de Paschen, para a série de Brackett  $n=4$  e para a série de Pfund  $n=5$  (ATKINS e JONES, 2006). No Esquema 6, todos os níveis de energia das transições do hidrogênio podem ser vistos, em destaque as cores representadas pelas linhas no espectro, dos saltos quânticos da série de Balmer.



Esquema 6 - Diferentes séries para o átomo de hidrogênio a partir de suas transições eletrônicas.

Adaptado de HALLIDAY et al., 2009.

O modelo atômico de Niels Bohr também obteve sucesso quando aplicado a átomos de um elétron com átomos de hélio ionizado. Os níveis de energia eram consistentes para átomos monoelétrônicos tanto na teoria quanto na prática como no caso do átomo de hidrogênio. No entanto, para muitos outros átomos, a teoria proposta por ele como as anteriores, também apresentou falhas, devido às linhas espectrais previstas pela teoria não corresponderem àquela observada (RUSSEL, 1994).

As tentativas no sentido de corrigir o modelo proposto por Bohr levaram diversos cientistas a construir novos modelos para o átomo. Devemos considerar que apesar das falhas apresentadas pelos postulados de Bohr, os conceitos de quantização da energia eletrônica, sem dúvida foram a maior contribuição dada pelo cientista dinamarquês à Ciência.

## 2.4 A constante busca pela explicação da estrutura da matéria

A mecânica quântica contribuiu para o surgimento de novas teorias e hipóteses na tentativa de explicar a estrutura da matéria. Os estudos realizados por Niels Bohr inicialmente não tiveram uma aceitação no meio científico, pois todos os modelos criados até o momento para o átomo estavam baseados em conceitos científicos já consolidados há muito tempo. Após muita dedicação ele elabora um novo modelo fundamentado em quatro postulados. O modelo criado por Bohr também foi substituído por outros assim como os anteriores, mas a essência da sua ideia de quantização foi preservada. Cientistas como Arnold Sommerfeld, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, James Chadwick, entre outros, também desenvolveram estudos relacionados ao átomo. A seguir, descrevemos algumas das contribuições desses cientistas na construção e comportamento da estrutura da matéria.

### 2.4.1 As órbitas elípticas de Sommerfeld

Um elétron ao se mover de uma órbita para outra deveria originar uma linha única e forte em seu espectro. Tal linha corresponderia à diferença de energia entre a órbita inicial e final desse elétron. Ao observarmos o espectro do hidrogênio, com o auxílio de um espectrofotômetro de alta resolução, verificamos a presença de algumas linhas extremamente finas. Isso significa que uma linha é composta na verdade por diversas linhas muito próximas (LEE, 1996).

Em 1916, Arnold Sommerfeld explicou esse desdobramento das linhas supondo que algumas das órbitas eram elípticas. Inicialmente ele calculou o tamanho, a forma das possíveis órbitas elípticas e a energia total de um elétron se movendo em uma dessas órbitas, pelo uso das fórmulas da mecânica clássica (WHITE, 1996). O modelo proposto por Sommerfeld, segundo Lee (1996) sugere que:

Para a órbita mais próxima do núcleo, o número quântico principal é  $n=1$ , havendo uma órbita circular. Para a órbita seguinte, o número quântico principal  $n=2$ , sendo possíveis tanto órbitas circulares como elípticas. Para definir uma órbita elíptica, é necessário um segundo número quântico  $k$  (LEE, 1996, p. 3).

Estava criado então, um novo modelo para o átomo (Figura 7).

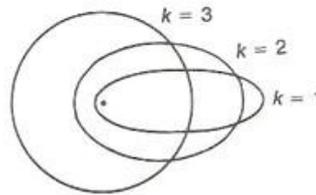


Figura 7 - Órbitas elípticas do modelo atômico de Sommerfeld.  
(LEE, 1996)

O desdobramento das linhas espectrais do hidrogênio, reveladas pelos espectrofotômetros, foi explicado pela presença das órbitas elípticas, com energias ligeiramente diferentes uma das outras, adicionais ao modelo atômico de Bohr.

#### 2.4.2 A dualidade onda-partícula do elétron

Outro aspecto importante na mecânica quântica, além dos estudos realizados por Planck e Einstein, é que as partículas podem exibir propriedades como ondas. A teoria planetária para o átomo proposta por Rutherford e Bohr sugeria a presença de um núcleo central rodeado por elétrons situados em certas órbitas. O elétron era então, considerado uma partícula. Estudos realizados no ano de 1920 apontaram que partículas em movimento, como os elétrons, comportavam-se em alguns aspectos como onda (RUSSEL, 1994).

Em 1924, o físico francês Louis de Broglie defendeu em sua tese de doutorado a hipótese de que o comportamento onda-partícula da radiação, também se aplicava à matéria. Pela combinação das equações deduzidas por Einstein e Planck, de Broglie sugeriu que os aspectos ondulatórios da matéria fossem relacionados com seus aspectos corpusculares, da mesma forma quantitativa com que esses aspectos são relacionados para a radiação (BROGLIE, 1929). Essa correlação pode ser observada pela análise da fórmula  $\lambda = n/p$ , proposta por de Broglie.

Dessa maneira, de Broglie fundamentou o conceito da dualidade onda-partícula para o elétron, ou seja, todas as partículas de matéria em movimento também deveriam apresentar propriedades ondulatórias.

#### 2.4.3 A incerteza de Heisenberg

Conforme Mahan e Myers (1995), os termos posição e velocidade são utilizados para descrever o comportamento de partículas macroscópicas. Haveria alguma restrição em utilizá-los no caso dos elétrons? Cálculos baseados no modelo atômico de Bohr exigiam informações mais precisas sobre a posição e a velocidade de um elétron.

Em 1927, o físico alemão Werner Heisenberg enunciou o “princípio da incerteza”, o qual limita a capacidade de reconhecermos os movimentos de uma partícula tão pequena como o elétron. O princípio da incerteza indica que é difícil medir e conhecer ao mesmo tempo o momento (conjunto massa – tempo – velocidade) e a posição do elétron com algum grau de certeza (HEISENBERG, 1933). Qualquer instrumento utilizado na tentativa de medir a velocidade e determinar a posição de um elétron influenciaria na observação deste.

Segundo Russel (1994), o princípio da incerteza pode ser interpretado da seguinte forma:

Quanto mais perto tentarmos olhar uma partícula diminuta, tanto mais difusa se torna a visão da mesma. Para um elétron, somos forçados a concluir que qualquer retrato físico ou qualquer modelo mental da estrutura do átomo não deverá simultaneamente localizar o elétron e descrever o seu movimento (RUSSEL, 1994, p. 159).

O conceito de átomo proposto por Bohr, no qual, um elétron percorreria uma órbita bem definida e sua posição e velocidade poderiam ser calculadas com exatidão, era substituído pela probabilidade de encontrar um elétron em uma determinada posição.

#### 2.4.4 A contribuição de Schrödinger

Os estudos realizados naquela época, orientados pela mecânica quântica, apresentaram evidências de forma conclusiva que as partículas de sistemas microscópicos se movimentam de acordo com as leis de algum tipo de movimento ondulatório, e não de acordo com as leis newtonianas (EISBERG e RESNICK, 1985).

Com base em diversos cálculos, Erwin Schrödinger em 1926, se dedicou a estudar o caráter dual do elétron proposto por de Broglie, na tentativa de criar uma teoria que especificasse quais as leis do movimento ondulatório as partículas de qualquer sistema microscópico obedeceriam. Através da resolução da equação de Schrödinger <sup>6</sup> obtem-se valores de energia e a função de onda do elétron (RUSSEL, 1981).

O novo modelo de átomo sugere que os elétrons comportam-se ora como ondas, ora como partículas e como consequência, suas energias e distribuições no espaço são quantizadas. A limitação da exatidão da posição e do momento de um elétron, proposto pelo princípio da incerteza de Heisenberg, mostra que o modelo atômico de Bohr apresentou algumas falhas. Na verdade, o que existe são probabilidades de encontrar os elétrons em determinados lugares do átomo.

#### 2.4.5 Os nêutrons de Chadwick

Diversos estudos foram realizados pelo casal francês Frederic e Irene Joliot – Curie e pelos físicos alemães Walther Bothe e Herbert Becker na tentativa de encontrar uma partícula neutra (SHAVIV, 2009). As experiências realizadas consistiam no bombardeio de elementos, como o lítio e o berílio, por partículas  $\alpha$ . No entanto, as radiações que eram emitidas pelos elementos bombardeados tinham diferentes significados para os cientistas que desenvolviam esse estudo. Os cientistas Bothe e Becker defendiam que as radiações emitidas eram raios gama, já o casal Joliot – Curie acreditava que eram um novo tipo de radiação, pois eram

---

<sup>6</sup> Resolvendo-se a equação de Schrödinger obtemos valores próprios de energia dos elétrons no átomo e a função de onda ( $\psi$ ) do elétron. No entanto, a descrição de que  $\psi^2$  representa a probabilidade de encontrar um elétron em uma determinada região é atribuída a Born (RUSSEL, 1981).

capazes de arrancar prótons das substâncias por onde passavam (MARTINS, 2001; CHASSOT, 2004).

Após muitas pesquisas em conjunto com Rutherford, em 1932, James Chadwick afirma que a radiação observada pelos cientistas na verdade deveria ser interpretada como uma partícula neutra, o nêutron. Para explicar tal fato, Chadwick supôs que as partículas alfa, que são partículas positivas, expulsavam do núcleo dos átomos bombardeados partículas neutras, que seriam responsáveis pela ejeção dos prótons das substâncias por onde passavam (CHADWICK, 1935; SOUZA, 2012).

Esse longo caminho que percorremos, desde os primórdios da Ciência até os estudos realizados pela mecânica quântica, só foi possível pela determinação de inúmeros estudiosos e cientistas em conhecer a estrutura da matéria para entender diversos fenômenos do nosso cotidiano. Nosso principal objetivo com esse breve histórico foi apresentar um pouco de cada estudo realizado, suas conquistas e falhas na construção do conhecimento de uma estrutura tão essencial como o átomo. A história do átomo, como qualquer outra história, não tem fim, está em constante modificação. Isso é Ciência, estar sempre em busca de respostas para os novos desafios que se apresentam.

A partir de agora, abordaremos alguns pontos que julgamos necessários para a compreensão da contribuição do modelo atômico proposto por Bohr em nosso cotidiano.

## **2.5 A natureza da cor e da luz**

Ao observarmos a natureza, da qual fazemos parte, percebemos que atribuímos cores aos objetos, às pessoas e a todos os outros elementos que a constituem. Conforme o dicionário, diversos significados são utilizados para designar a palavra cor. Segundo Ferreira (2010), cor é a sensação que a luz provoca em órgãos de visão, e que depende, primordialmente, do comprimento de onda das radiações.

A cor é uma propriedade dos materiais que faz parte da vida humana, independente da época ou civilização, está presente em tudo que existe, a cor do céu, das flores, das roupas. O universo inteiro é constituído por cores ou pela ausência dela, porém esse mundo colorido despertou dúvidas, e o homem começou a se questionar a respeito da origem das cores.

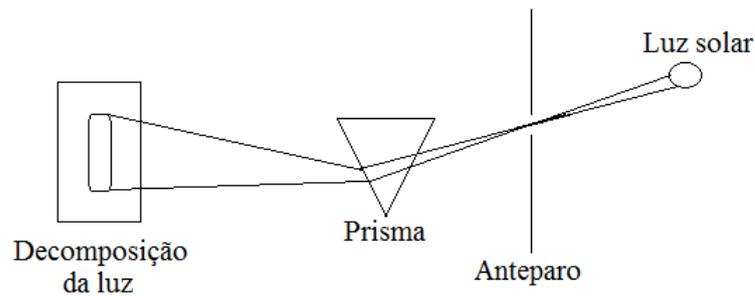
Historicamente, o filósofo grego Epicuro já acreditava que a cor estava relacionada com a luz, uma vez que a falta dessa proporciona a não visualização das cores. Além disso,

Epicuro afirmava que a coloração dos objetos variava conforme a luz incidente, concluindo assim que os corpos não possuíam cor própria (PEDROSA, 2004). Estudos realizados por Aristóteles também indicavam a relação entre as cores e os objetos. Ele concluiu que as cores eram uma propriedade dos objetos, assim como o peso, o material e a textura. Fascinado pela matemática, propôs a existência das cores primárias vermelho, verde e violeta, que foram obtidas por cálculos e combinações entre números e uma pequena porção de sombra, já as outras cores resultariam da combinação das cores primárias (BERNARDO, 2009).

O estudo das cores sempre foi influenciado por aspectos psicológicos e culturais. Com o passar dos anos Leonardo da Vinci se oporia a teoria formulada por Aristóteles, ao afirmar que a cor não era uma propriedade dos objetos, mas sim da luz. Ou seja, a visualização de qualquer objeto seria possível apenas na presença de iluminação (PEDROSA, 2004).

A busca de uma resposta para a relação entre a cor e a luz despertou o interesse de vários estudiosos. Foi no século XVII, que a ótica e sua relação com a cor e a luz ganhou destaque através de estudos realizados por Kepler, Descartes, Snell, Hooke, e Huygens sobre a luz, as leis da refração e a formação do arco-íris. Em 1637, com a publicação da lei da refração no *Discours de la méthode* de René Descartes, Isaac Newton dedicou-se ao estudo da luz e sua influência sobre os objetos (GUIMARÃES, 2004).

Nos primeiros séculos da nossa era, o filósofo romano Sêneca já havia observado a decomposição da luz, mas foi no ano de 1666, que Newton realizou a decomposição da luz branca em sete cores principais, com comprimentos de onda específicos para cada uma delas (ORNA, 1980a). Newton permitiu que uma faixa estreita de luz solar passasse através de um prisma de vidro, e observou que a luz ao atravessar esse prisma apresentava uma série de cores que variavam do vermelho ao violeta, passando pelo laranja, amarelo, verde, azul e anil (Esquema 7). Essa decomposição da luz branca ficou conhecida como *Experimentum Crucis* e é possível porque cada cor possui um índice de refração diferente, ou seja, apresenta um desvio diferente quando passa de um meio para outro, como por exemplo, do ar para o vidro (NEWTON, 2002).



Esquema 7–*Experimentum Crucius* realizado por Newton na decomposição da luz.  
Adaptado de CREASE, 2006.

Após a realização de sua experiência, Newton lançou a hipótese de que a luz solar seria constituída de uma mistura ou superposição de todas as cores observadas no espectro do prisma e, ainda concluiu que a luz se decompõem devido a refração que sofre ao passar de um meio para outro com diferentes índices de refração e velocidade. Além de realizar estudos sobre a dispersão da luz, Newton também teorizou sobre as cores dos corpos. Segundo ele, as cores apresentadas por todos os objetos estão relacionadas ao fato de que eles refletem a luz de certa cor em maior quantidade do que outras (BEN-DOV, 1996). Essa teoria teve grande oposição no meio científico, fazendo com que Newton publicasse seus trabalhos sobre ótica somente anos mais tarde.

A cor é fundamentalmente um fenômeno subjetivo, resulta de um estímulo recebido pelo olho e decodificado pelo cérebro. Os fatores relevantes que explicam a cor, sem dúvida estão relacionados com a fonte de luz, o objeto iluminado, os olhos e o cérebro que recebem e percebem a cor. A partir dessas considerações é importante conhecermos esses fatores para entendermos sua relação entre si e com o modelo atômico proposto por Bohr.

### 2.5.1 Luz: uma forma especial de energia

Encontrar uma definição para o conceito de energia é difícil, mas de muita importância para a Ciência. Como sugere Pazinato (2012), para não ficarmos apenas na simples definição de que “energia é a capacidade de realizar trabalho”, empregaremos a ideia de Wolke (2003), que define energia como sendo:

O que faz as coisas acontecerem... Ela vem sob diversas formas: movimento físico (pense no caminhão), energia química (pense na dinamite), energia nuclear (pense em reator), energia elétrica (pense em bateria), energia gravitacional (pense em cachoeira) e, sim, na forma mais comum de todas, calor (WOLKE, 2003, p. 159).

Podemos dizer que a energia é uma medida de transformação, que pode ser aplicada à luz, ao movimento, ao som, ao magnetismo, às reações químicas, enfim, a qualquer processo que envolva alguma mudança. A luz ao interagir com as moléculas, seja com aquelas presentes em nossos olhos ou com as que estão no ambiente, tem sua energia transformada. Quando os fotorreceptores – células da retina que captam as variações de energia do ambiente – percebem a energia da luz, transmitem-na para os neurônios. Os estímulos são transformados em impulsos nervosos, e essas constantes transformações possibilitam que nós seres humanos possamos ver, sentir, perceber e interagir com o meio ambiente (RETONDO e FARIA, 2009).

Além de possuir energia, a luz também apresenta caráter dual, ou seja, de onda e de partícula, assim como o elétron descrito por de Broglie. Os fotorreceptores existentes em nossa retina são capazes de reconhecer a partícula que compõem a luz, denominada de fóton. Ou seja, a quantidade de energia presente na luz é proporcional ao número de fótons que ela contém, mas é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Como cada onda apresenta um comprimento de onda específico e a ela está associado um número de fótons, dizemos que a luz é quantizada (RETONDO e FARIA, 2009). Essa relação nos leva a afirmar que quanto maior o número de fótons, maior será a energia associada à luz e a amplitude da onda. Percebemos este tipo de variação como sensação visual de brilho, assim quanto maior o número de fótons de uma determinada fonte de luz, mais brilhante ela nos parece (BARTHEM, 2005).

Mas afinal, qual a natureza da luz? Por meio de cálculos Maxwell sugeriu que a luz além de ser uma forma especial de energia é um tipo de radiação eletromagnética. Radiação eletromagnética é o nome dado a ondas que são formadas pela oscilação simultânea de um campo elétrico e magnético (Figura 8) e se propagam em linha em qualquer meio, tais como o vácuo, o ar, o sólido ou o líquido (HEWITT, 2002).

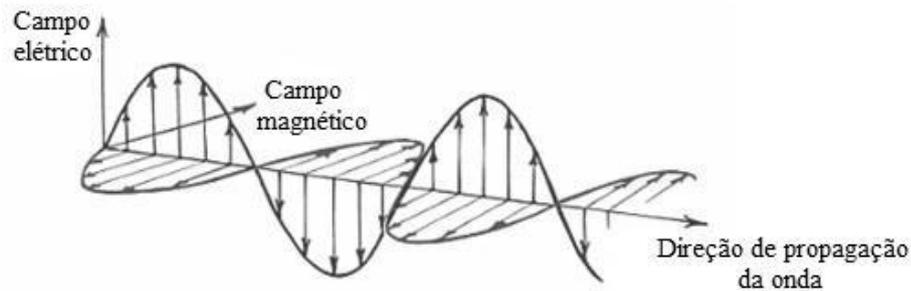


Figura 8 - Onda eletromagnética.  
(HEWITT, 2002)

As ondas eletromagnéticas quando passam de um meio para outro, apresentam variação em sua velocidade de propagação. No entanto, outras propriedades como o comprimento de onda podem variar, dependendo do tipo de interação que ocorre entre a onda e o meio. Quando a luz passa de um meio para outro e sua velocidade se altera, há variação na frequência da onda. Portanto, o comprimento de onda está relacionado com a velocidade e com a frequência (BRENNAM, 2003). Conforme descrito na seção 2.2.1 deste trabalho, a radiação luminosa não é emitida de maneira contínua, mas sim na forma de fótons, cada um deles vibrando com uma frequência  $\nu$  e transportando uma energia igual a  $h.\nu$ . Essa relação pode ser expressa por meio da equação de Planck:  $E=h.\nu$ .

É difícil encontrar uma definição correta para o que é a luz, mesmo após muitos estudos e a criação da mecânica quântica na tentativa de descrever a natureza da luz, ainda hoje não há uma resposta definitiva e esclarecedora para esse fenômeno. Sendo assim, continuaremos nosso estudo com o objetivo de conhecermos mais sobre esse fenômeno tão importante em nosso cotidiano.

### 2.5.2 O espectro eletromagnético

Em nosso cotidiano, a luz é o exemplo mais comum de onda ou oscilação eletromagnética. Após a experiência realizada por Newton, sabemos que um feixe de luz branca ao atravessar um prisma se decompõe em várias cores, que formam o chamado espectro visível. O espectro é assim chamado, pois as cores vão variando gradativamente do vermelho ao violeta, que são os dois extremos para a nossa visão. Esse mesmo fenômeno

ocorre na formação do arco-íris, no qual as gotículas de água no ar agem sobre a luz do mesmo modo que o prisma de vidro (JUSTER, 1962).

Mas qual a diferença entre as cores? A diferença está relacionada com o comprimento de onda e as frequências, que variam para cada cor. Qualquer variação no comprimento de onda faz com que a energia da luz visível seja detectada pelos fotorreceptores de uma maneira diferente e, conseqüentemente, as mensagens enviadas por eles ao cérebro também serão diferentes. Por isso, para cada comprimento de onda da região do visível absorvido pelo olho humano, está relacionada uma cor complementar, ou seja, aquela cor que realmente observamos. Quando a luz incide sobre o objeto, parte da radiação é absorvida e parte é refletida. Estes fótons refletidos alcançam a retina do olho e o que visualizamos na realidade é sua cor complementar. As cores complementares podem ser visualizadas com o auxílio do disco de cores (Figura 9), e estão organizadas no disco no sentido horário, variando do vermelho ao violeta. Qualquer duas cores diamétricas são ditas complementares, por exemplo, o vermelho e o verde (BRILL, 1980).

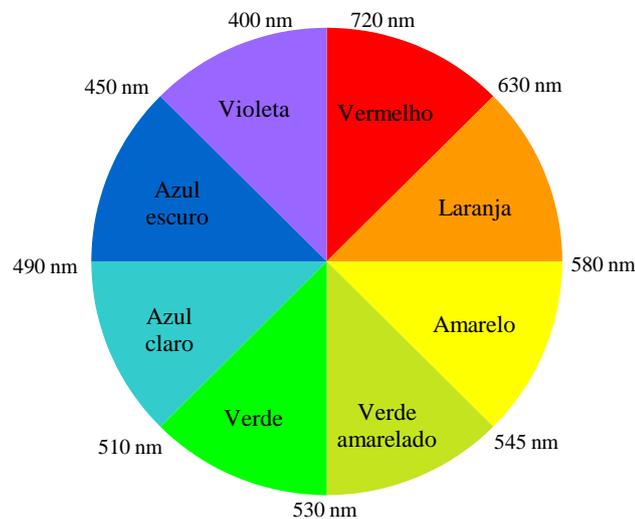


Figura 9 - Disco de cores.  
Adaptado de BRILL, 1980.

Como existem ondas eletromagnéticas de diversos comprimentos de onda, podendo variar de  $10^2$  a  $10^{-14}$  metros aproximadamente, e cada uma delas podendo interagir de diferentes maneiras com a matéria, essas ondas foram classificadas e tabeladas de acordo com a variação dos seus comprimentos de onda no chamado espectro eletromagnético. Conforme

Hewitt (2002) o espectro eletromagnético é uma faixa contínua de ondas que se estende desde as ondas de rádio até os raios gama, e os diferentes tipos de radiação presentes no espectro apresentam a mesma natureza, diferindo principalmente em frequência e comprimento de onda. Pela análise do espectro eletromagnético, observamos que a região do visível detectada pelos nossos olhos compreende uma pequena faixa do espectro. (Figura 10).

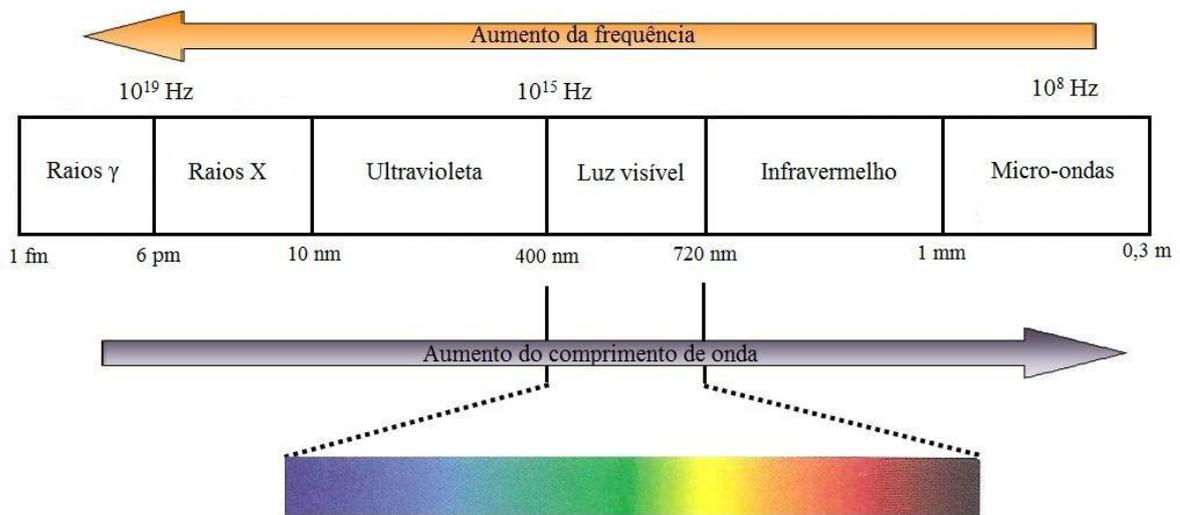


Figura 10 - Espectro eletromagnético.  
Adaptado de JOHNSON, 1999; VIEGAS, 2004.

A porção visível do espectro, isto é, a energia responsável pela faixa detectada pelo olho humano, ocupa apenas uma pequena região entre aproximadamente 1,7 e 3,1 eV, em termos de energia. Uma análise desta região relacionada a outras variáveis das cores como, por exemplo, comprimento de onda e frequência, podem ser consultados na Tabela 1.

Tabela 1 - O espectro visível.

(continua)

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência ( $10^{12}$ Hz)	Energia (eV)
Vermelho	720 – 630	384 – 482	1,77 – 1,92
Laranja	630 – 580	482 – 503	1,92 – 2,12

(conclusão)

Amarelo	580 – 545	503 – 520	2,12 – 2,16
Verde	545 – 510	520 – 610	2,16 – 2,52
Azul	510 – 450	610 – 659	2,52 – 2,95
Violeta	450 – 400	659 – 769	2,95 – 3,10

Adaptado de ORNA, 1980a.

O sol emite grande parte da radiação do espectro eletromagnético, mas a faixa de radiação mais energética é absorvida pela camada de ozônio. A parte que não é filtrada e que, portanto, chega até a superfície compreende a radiação da região do visível, parte da radiação ultravioleta e parte da radiação infravermelha. Apesar de não sermos capazes de enxergar as radiações das duas últimas regiões citadas, podemos senti-las de outras formas. O ultravioleta é responsável pelo bronzeamento da pele, já o infravermelho está presente quando sentimos calor (RETONDO e FARIA, 2009).

Quando a luz visível é absorvida por alguns compostos químicos, seus elétrons são excitados do estado fundamental para o estado excitado, como descrito pelo modelo atômico de Bohr. A energia absorvida geralmente é emitida na forma de radiação eletromagnética na região do visível, que varia do vermelho ao violeta. Por isso, a região do visível corresponde às excitações eletrônicas sofridas pelos átomos. Sabemos por exemplo, que uma barra de ferro aquecida a uma temperatura que varia entre 800 °C – 900 °C torna-se vermelha. Persistindo o aquecimento, ao atingir a temperatura entre 1100 °C – 1200 °C, ela se torna alaranjada, e ao chegar a 1400 °C ela se torna branca. A temperaturas muito elevadas, o branco torna-se ligeiramente azul. Fenômenos como esse comprovam que os corpos emitem radiação na forma de ondas, ou seja, fótons quando submetidos a uma quantidade definida de energia (GLEISER, 1997).

### 2.5.3 Espectros de emissão e de absorção

Como vimos na seção anterior, muitos sólidos quando submetidos a fontes de aquecimento emitem radiação com diferentes intensidades e comprimentos de onda da faixa

do visível. O mesmo ocorre com átomos e moléculas presentes em um gás rarefeito (BEISER, 1969). Esse fenômeno pode ser observado nas lâmpadas de sódio e mercúrio de baixa pressão e nos letreiros luminosos. Para que essa emissão de radiação ocorra, é necessário que, por exemplo, um feixe de luz branca emitida pela queima de gás em um bico de Bunsen atravesse uma substância, assim certos comprimentos de onda são absorvidos e outros são refletidos, sendo esse o fenômeno que caracteriza a cor que observamos em uma determinada substância (ABDALLA, 2006b).

Em 1820, o físico alemão Joseph Von Fraunhofer, que trabalhava na fabricação de instrumentos óticos de vidro utilizando prismas e telescópios, construiu um aparelho capaz de identificar a radiação luminosa emitida ou absorvida por um determinado elemento ou substância (BERNARDO, 2007). Esse aparelho é denominado espectroscópio, e é formado por uma escala graduada em frequências ou comprimentos de ondas e por uma luneta, utilizada para observar o espectro obtido. Quando a luneta desse espectroscópio é substituída por uma chapa fotográfica responsável por registrar os espectros obtidos, temos um aparelho denominado de espectrógrafo, conforme já ilustrado no Esquema 4 (EISBERG e RESNICK, 1985). Sabendo que os átomos ou moléculas presentes em um gás rarefeito podem absorver ou emitir radiação eletromagnética, quando seus elétrons são excitados com determinados valores de energia, é possível separar e determinar espacialmente as diferentes radiações emitidas por ele, de acordo com seu comprimento de onda, quando submetidos à análise utilizando o espectrógrafo (YOUNG, 1998).

As diferentes radiações apresentadas pela análise dos gases são visualizadas pelas faixas ou bandas observadas no chamado espectro atômico que cada um dos átomos apresenta. Esse espectro pode ser de três tipos, contínuo, de absorção ou de emissão (Figura 11), dependendo do tipo de transição eletrônica que cada átomo presente no gás apresenta. O espectro contínuo (11a) resulta da colisão entre os elétrons livres do gás, cujas energias resultantes não estão limitadas a determinados valores de energia, podendo adquirir qualquer valor. Essas colisões são tão efetivas que originam bandas muito intensas que se sobrepõem umas as outras, dessa forma torna-se impossível delimitar o início e fim de cada uma delas (GLEISER, 1997; YOUNG, 1998). Esse tipo de espectro é observado através da decomposição de um feixe de luz solar, conforme a experiência realizada por Newton em 1666. Já um espectro de emissão é obtido quando a emissão de fótons referente às transições eletrônicas das colisões entre os átomos constituintes do gás rarefeito são reduzidas. Dessa forma, as riscas de emissão correspondem aos saltos quânticos dos elétrons, do estado excitado para níveis mais baixos de energia (11b). O espectro de absorção (11c) ocorre

quando a luz emitida por uma determinada fonte passa através de um gás frio e rarefeito, na qual é absorvida com determinados valores de frequência. Essa luz absorvida é reemitida em diferentes direções daquela correspondente ao fóton absorvido inicialmente, portanto as riscas negras observadas no espectro resultam da ausência de luz (GLEISER, 1997; DEWDNEY, 2000; ABDALLA, 2006b).

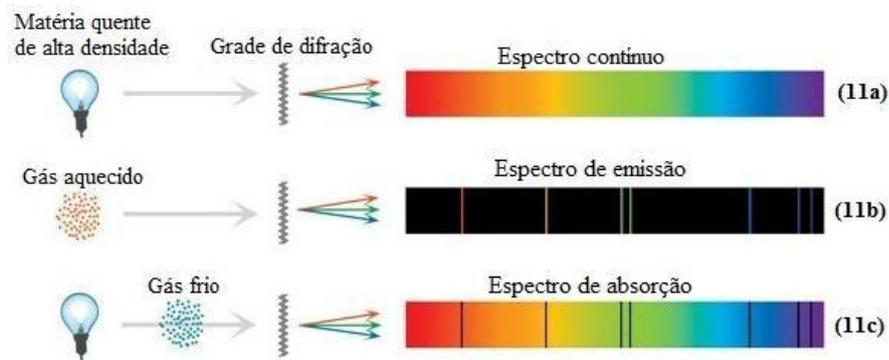


Figura 11 - Os três tipos de espectros atômicos.  
Adaptado de SCIENCE IN SCHOOL, 2007.

Os espectros de emissão e absorção são importantes, pois identificam os átomos analisados. Nenhum átomo apresenta o mesmo espectro quando submetido à análise no espectrógrafo, dessa forma podemos dizer que os espectros de emissão e absorção são a identidade dos átomos.

## 2.6 A percepção da cor

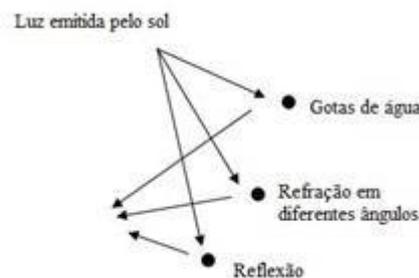
A forma como enxergamos as inúmeras cores que compõem o universo está relacionada principalmente em como nossos olhos percebem a luz que interage com a natureza, criando uma conexão entre a luz e o objeto.

A sensação de cor é um fenômeno subjetivo, já a percepção da cor de um objeto está relacionada com sua habilidade em manipular a luz. Sendo assim, a sensibilidade espectral do olho humano é igual à intensidade da luz visível (PEDROSA, 2009).

Pode não parecer, mas somos capazes de perceber aproximadamente 10 milhões de cores, que variam em tonalidade e brilho. Essas diferentes tonalidades estão relacionadas diretamente com os comprimentos de onda, e são importantes para formarmos contrastes das imagens que somos capazes de enxergar, facilitando nossa percepção de formas e texturas (RETONDO e FARIA, 2009).

Como sugere Halliday et al. (2009), a manifestação mais poética dos diferentes comprimentos de onda relacionados com as cores é o arco-íris. Em dias que chove e faz sol ao mesmo tempo, conseguimos enxergar o arco-íris. O arco-íris é um fenômeno natural de separação dos comprimentos de onda da energia do sol emitida através das gotas de água da chuva. Esse fenômeno ocorre porque cada vez que a luz passa de um meio para outro, nesse caso, do ar para a água ou vice-versa, sofre refração e se desvia, uma vez que se propaga em linha reta (BERNARDO, 2009). Como cada gota da chuva possui uma forma, aproximadamente esférica, o raio de luz sairá da gota de água formando neste caso, um ângulo de aproximadamente  $42^\circ$  em relação à direção dos raios provenientes do sol. Portanto, o arco-íris que enxergamos corresponde a um conjunto de gotas que estão em um ângulo de  $42^\circ$  (HALLIDAY et al., 2009).

As cores que enxergamos ao observar um arco-íris surgem devido à refração dos diferentes comprimentos de onda da luz emitida pelo sol que chega até a gota de água na atmosfera (Esquema 8). Cada comprimento de onda da luz visível é refratado com um ângulo diferente dos  $42^\circ$ . Esse ângulo corresponde à refração das ondas de maiores comprimentos, provocando a sensação de cor vermelha, já as ondas com comprimentos menores, como no caso das que causam as sensações de cor violeta, são refratadas com um ângulo de aproximadamente  $40^\circ$ . As outras ondas são refratadas em ângulos intermediários entre esses dois valores (RETONDO e FARIA, 2009).



Esquema 8 - Representação da refração e reflexão da luz emitida pelo sol que origina o arco-íris.

(RETONDO e FARIA, 2009)

Agora, poderíamos nos perguntar por que o céu é azul durante o dia em determinadas condições climáticas, e por que possui tons avermelhados durante o pôr do sol? Ou ainda, por que a água do mar é azul-esverdeada? A sensação de azul do céu está relacionada ao fato de que a luz com os menores comprimentos de onda do espectro da região do visível é a única que pode ser absorvida e refletida pelas moléculas, de nitrogênio e oxigênio, que compõem o ar atmosférico, sendo assim espalhadas em todas as direções (BERNARDO, 2009). Já o pôr do sol é mais avermelhado, porque durante esse momento, a luz solar atravessa a atmosfera em uma distância maior. Consequentemente a luz azul é espalhada, por isso não é vista, resultando apenas as porções mais avermelhadas do espectro, que são as que possuem menor energia e são menos espalhadas (BARTHEM, 2005; RETONDO e FARIA, 2009). A coloração azul-esverdeada, que enxergamos quando observamos a superfície de um lago ou mar, está relacionada com a reflexão da cor do céu na água. Embora a água seja transparente perante a luz de aproximadamente todas as frequências visíveis, suas moléculas absorvem energia das ondas infravermelhas. Conforme Hewitt (2002), esse fenômeno resulta na ressonância das moléculas de água na faixa que compreende a cor vermelha do espectro visível, fazendo com que ela seja ligeiramente mais absorvida pela água do que a luz azul. Quando a cor vermelha é retirada da luz branca sua cor complementar predomina, por isso ao olharmos para o mar observamos a coloração azul-esverdeada.

Através desses exemplos podemos perceber que somos capazes de enxergar os comprimentos de onda da região do visível quando há reflexão. Portanto, as moléculas que causam sensação de cor também devem agir absorvendo e refletindo alguns comprimentos de onda. No entanto, nem todas as moléculas presentes em nosso ambiente são percebidas como coloridas. Essas moléculas podem absorver radiações de todos os comprimentos de onda da região do visível ou de outras regiões. Assim, nada sobraria para ser refletido, consequentemente não haveria estímulo e essa molécula não ativaria nenhum fotorreceptor em nossa retina. Para essas moléculas, geralmente atribuímos a cor preta. Na verdade, o preto não é uma cor, pois não é uma sensação, ou seja, não existe um estímulo. O preto é resultado da nossa percepção, por isso ao observarmos uma cena visual em que existe algum objeto preto, escuro ou negro na presença de iluminação, podemos enxergá-lo, no entanto esse objeto não estará refletindo nenhum comprimento de onda da região do visível. Dessa forma, muitos pesquisadores não consideram correta a definição “cor preta”, pois para eles o preto na verdade é o grau máximo de redução da intensidade luminosa do branco (MELLERS et al., 2002). Um exemplo desse tipo de molécula é a grafite encontrada no lápis de escrever. Pela análise do fragmento de sua estrutura química (Figura 12), os carbonos que formam suas

diferentes camadas fazem três ligações  $\sigma$  com os outros átomos de carbono. Segundo Retondo e Faria (2009), os elétrons resultantes dessa interação ficam em orbitais  $\pi$ , e esse número muito elevado de elétrons  $\pi$  deslocalizados faz com que todos os orbitais da grafite fiquem próximos, resultando em muitas transições eletrônicas. Como consequência dessas inúmeras transições eletrônicas, a molécula da grafite absorve fótons de praticamente todos os comprimentos de onda da luz visível, causando uma percepção de escuridão, apesar de apresentar brilho.

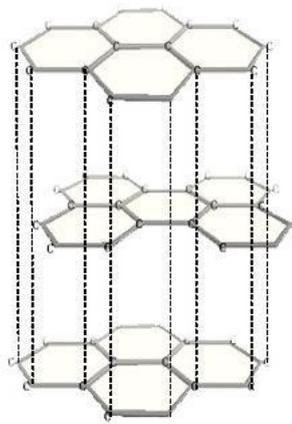


Figura 12 - Estrutura da molécula da grafite.  
Adaptado de RETONDO e FARIA, 2009.

Dessa forma percebemos que todos os dias estamos em intenso contato visual com moléculas, naturais ou sintetizadas pelo homem, responsáveis pelas inúmeras cores presentes em nossa volta. Para que possamos ver as cores, é preciso que nossos olhos e cérebro estejam sincronizados um com o outro. Na próxima seção apresentamos a relação do mecanismo da visão com a Química na percepção das cores.

### 2.6.1 A Química e a visão

Os fotorreceptores são células existentes em nossos olhos, podem ser divididos em dois grupos, o dos cones e o dos bastonetes, e estão localizados na retina, que é a porção do olho responsável pela criação do impulso nervoso até o nosso cérebro. Conforme Mellers et

al. (2002, p. 129), “a retina apresenta duas partes, a externa pigmentada e a interna de tecido nervoso”. A parte interna é ainda constituída por três camadas de neurônios, uma camada de células fotorreceptoras, outra de células bipolares e a última camada de células ganglionares<sup>7</sup>.

A percepção da cor pelos fotorreceptores presentes em nossos olhos está relacionada com a presença de luz no ambiente, no entanto a detecção, o processamento e a transmissão desse estímulo são realizados por meio de processos químicos. Os dois tipos de fotorreceptores existentes (Figura 13), cones e bastonetes, são capazes de absorver a energia da luz que compreende a faixa da região do visível do espectro eletromagnético, e desempenham papéis específicos em nosso sistema visual (LENT, 2005).

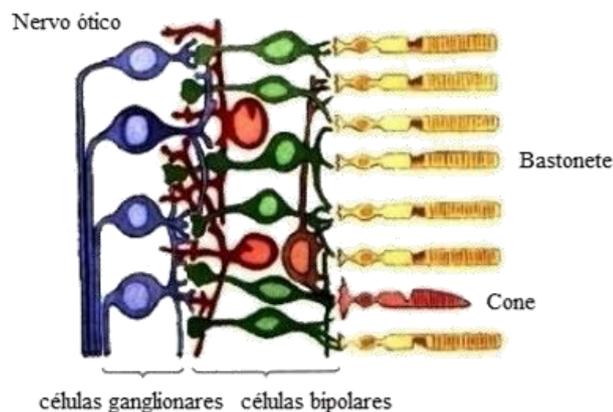


Figura 13 - Representação dos fotorreceptores.

Adaptado de LEHNINGER, 2006.

Os bastonetes são estruturas que apresentam forma cilíndrica e são ativados quando há pouca luz no ambiente, ou seja, um único fóton é suficiente para excitar esse fotorreceptor. Aproximadamente um bilhão de bastonetes funcionam na penumbra, por isso a noite não conseguimos distinguir as diferentes cores, mas somos capazes de enxergar a forma e outras características dos objetos (BERNARDO, 2010). No entanto na presença de luz, os responsáveis por detectar as variações da região do visível são os cones, que são encontrados na região central da nossa retina. Ao contrário dos bastonetes, os cones agem na presença de muitos fótons, por isso não são tão sensíveis quanto os bastonetes. As diferentes sensações visuais presentes em nosso cotidiano, como a cor, a forma, a textura ou o movimento, são

<sup>7</sup> A parte interna de nossa retina é constituída por diferentes tipos de células, sendo que cada uma delas desempenha uma função. Em nosso estudo, daremos ênfase às células fotorreceptoras por estarem diretamente ligadas ao fenômeno de percepção das cores.

captadas pelos cones, e são possíveis porque existem três tipos de cones. A principal diferença entre os três tipos de cones está relacionada com a sensibilidade que cada um apresenta em relação a um estímulo luminoso. Cada tipo de cone é sensível a um determinado comprimento de onda da região do visível. Os cones que absorvem luz de muita energia, ou seja, ondas que variam na faixa de 400 a 480 nm, são chamados de cones sensíveis ao azul, já os que absorvem luz com energia variando de 430 a 670 nm são denominados sensíveis ao verde e aqueles cones que absorvem luz de menor energia, com comprimento de onda variando de 500 a 700 nm aproximadamente, são sensíveis ao vermelho (LENT, 2005). Dependendo dos cones que serão ativados, teremos a sensação de uma determinada cor. Quando os três cones são ativados a molécula presente neles, deverá espalhar luz de todos os comprimentos de onda da faixa do visível, dessa forma os cones sensíveis para a cor vermelha absorvem a energia dos comprimentos de onda da luz visível longos, os sensíveis ao verde absorvem médios comprimentos de onda e os sensíveis ao azul absorvem todos os comprimentos curtos e, nesse caso, o resultado é a sensação de branco que surge (BARTHEM, 2005). É importante notar que a cor branca é uma sensação, pois há o estímulo da luz para que possamos vê-la, diferentemente do que ocorre com a cor preta.

Percebemos que a interpretação dos estímulos em nossos olhos, é realizada pelas células existentes em nossa retina, os cones e os bastonetes. Esses dois fotorreceptores apresentam ainda, moléculas que interagem com o meio e são responsáveis pela sensação visual. A partir de agora, iremos descrever um pouco sobre esse processo e a função dessas moléculas em nosso sistema visual.

A molécula de retinal, constituída por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, apresenta ligações duplas e simples alternadas. Essas ligações, entre os elétrons da cadeia, são fracas o que lhes permite um deslocamento ao longo da cadeia. Dessa forma, a molécula de retinal pode absorver e armazenar a energia da luz, através do deslocamento de seus elétrons para um novo arranjo (ATKINS, 2002). Além disso, essa molécula apresenta o grupo funcional aldeído (-CHO), responsável pela ligação dessa molécula com outras moléculas vizinhas, principalmente proteínas.

A molécula responsável pela absorção de luz incidente sobre os cones e bastonetes é a 11-*cis*-retinal. Nos bastonetes, encontramos a rodopsina que é formada pela opsina (parte protéica) e uma molécula de 11-*cis*-retinal (PEDROSA, 2009). Já nos cones, a molécula de 11-*cis*-retinal está ligada a três opsinas, que diferem entre si dependendo do comprimento de onda que absorvem – verde, vermelho e azul – como vimos anteriormente. A molécula de 11-

*cis*-retinal ao absorver luz, promove o deslocamento de elétrons, nesse caso, conforme Atkins (2002, p. 148):

Um dos dois pares de elétrons entre os dois átomos de carbono se separa no lugar em que a molécula de 11-*cis*-retinal está dobrada, isto é, a dupla ligação é subitamente transformada em uma ligação simples. Um lado da molécula pode agora girar em relação ao outro, e o 11-*cis*-retinal muda de forma, passando a *trans*-retinal. Feito isso, os dois elétrons do par desfeito se reencontram, reformam a dupla ligação e congelam a molécula na sua nova forma (ATKINS, 2002, p. 148).

Esse rearranjo (Figura 14) sofrido pela molécula de 11-*cis*-retinal (14a) para a formação da molécula de *trans*-retinal (14b), provoca modificações na proteína opsina, fazendo com que o cérebro receba essa informação através do nervo ótico. Dessa forma, a molécula de *trans*-retinal se desprende da opsina, e reconverte-se em *cis*-retinal em outra parte do olho, voltando-se a ligar à opsina, esperando um novo feixe de luz para iniciar todo o processo novamente (MC MURRY, 2011).

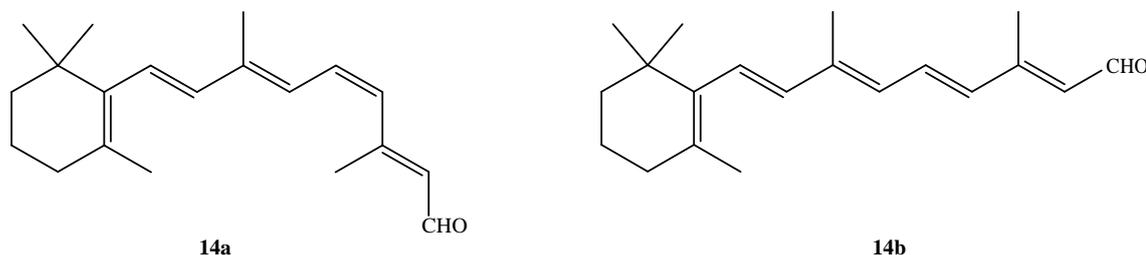


Figura 14 - Representação das estruturas químicas das moléculas de 11-*cis*-retinal (14a) e *trans*-retinal (14b).

Assim, percebemos que os estímulos visuais presentes em nosso cotidiano estão diretamente ligados à interação entre a energia, nesse caso a luz, e os fotorreceptores dos nossos olhos. E essa interação que está relacionada com a Química, é apenas o primeiro passo para que nosso cérebro interprete esse estímulo possibilitando-nos a visualização das cores. Daqui para frente, iremos investigar a relação da energia com as diferentes cores presentes em nosso cotidiano e a Química envolvida nesse processo.

## 2.7 Energia e a Química das cores

Como já vimos anteriormente, somos capazes de perceber inúmeras cores, provenientes de comprimentos de onda da região do visível. A partir de agora, focamos nosso estudo nos diferentes compostos químicos, sejam eles orgânicos e inorgânicos, capazes de causar sensação de cor. Eles devem agir absorvendo e refletindo alguns comprimentos de onda da região do visível. Antes disso, é importante discutirmos alguns tópicos necessários para o entendimento da relação que existe entre a energia e a Química.

### 2.7.1 Processos de emissão de luz

Os fenômenos luminosos, decorrentes da emissão de luz por um organismo vivo, um material ou até mesmo por uma reação química, sempre atraíram a atenção da humanidade desde os primórdios da história. Diversos textos encontrados na literatura apontam a curiosidade e as dúvidas envolvidas no entendimento desse fenômeno (HARVEY, 1957; GOLDBERG e WEINER, 1989; VALEUR e BERBERAN-SANTOS, 2011). Todos esses acontecimentos de emissão de luz, que não envolvem modificações na temperatura<sup>8</sup>, estão relacionados com o processo conhecido como luminescência, descrito pela primeira vez em 1888 pelo físico e historiador alemão Eilhard Wiedemann. A palavra luminescência deriva do latim *lúmen*, que significa luz. Segundo as recomendações sugeridas pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), o fenômeno da luminescência, também conhecido como luz fria, pode ser entendido como a emissão espontânea de fótons provenientes de espécies eletronicamente excitadas ou da vibração dessas espécies excitadas, que não estão em equilíbrio térmico com o meio ambiente (BRASLAVSKY et al., 2007).

Antes da definição do termo luminescência por Wiedemann, vários cientistas já haviam relatado técnicas experimentais realizadas com diversos materiais e a emissão de luz como uma consequência desses testes, conforme Tabela 2:

---

<sup>8</sup> Alguns corpos emitem luz quando submetidos a mudanças de temperatura. Esse fenômeno é conhecido como incandescência e será estudado nesta seção.

Tabela 2 - Primeiras observações dos diferentes tipos de luminescência.

<b>Ano</b>	<b>Cientista</b>	<b>Observação</b>
1565	Nicolas Monardes	Emissão de luz pela infusão de pedaços da madeira <i>Lignum nephriticum</i> .
1602	Vincenzo Cascariolo	Emissão de luz pelo mineral <i>Bolognian phosphor</i> .
1833	David Brewster	Emissão de luz pela solução de clorofila.
1842	Edmond Becquerel	Emissão de luz pelo sulfeto de cálcio quando exposto à radiação ultravioleta.
1845	John Herschel	Emissão de luz pela solução de sulfato de quinino.
1852	George Gabriel Stokes	Emissão de luz pela solução de sulfato de quinino quando exposto à radiação ultravioleta.
1871	Adolf Von Baeyer	Síntese da fluoresceína.
1888	Eilhard Wiedemann	Introdução do termo luminescência.

Adaptado de VALEUR, 2001a.

Pelos dados apresentados na tabela acima, verificamos que as observações realizadas pelos cientistas envolvem a emissão de luz por diversos objetos. Cada objeto apresentou um determinado comportamento ao ser analisado, que está relacionado com os diferentes tipos de luminescência que existe. A partir de agora, descreveremos cada um desses tipos e como cada um deles ocorre.

Os diversos tipos de luminescência existentes são classificados de acordo com a maneira de excitação dos elétrons do objeto que estamos analisando. Dentre eles podemos destacar os processos de triboluminescência, quimiluminescência, bioluminescência e fotoluminescência, que ainda subdivide-se em outros dois tipos, a fluorescência e a fosforescência (O'HARA et al., 2005).

O fenômeno de bioluminescência está relacionado com a emissão de luz por um organismo vivo, e pode ser observado em seres como o vaga-lume e em alguns gêneros de água-viva (Figura 15). Esse fenômeno ocorre por meio da oxidação da molécula orgânica luciferina (15a), presente nesses organismos, catalisada pela enzima luciferase, como consequência dessa reação há liberação de energia na forma de luz visível,  $h.v$  (VIVIANI e BECHARA, 2008).

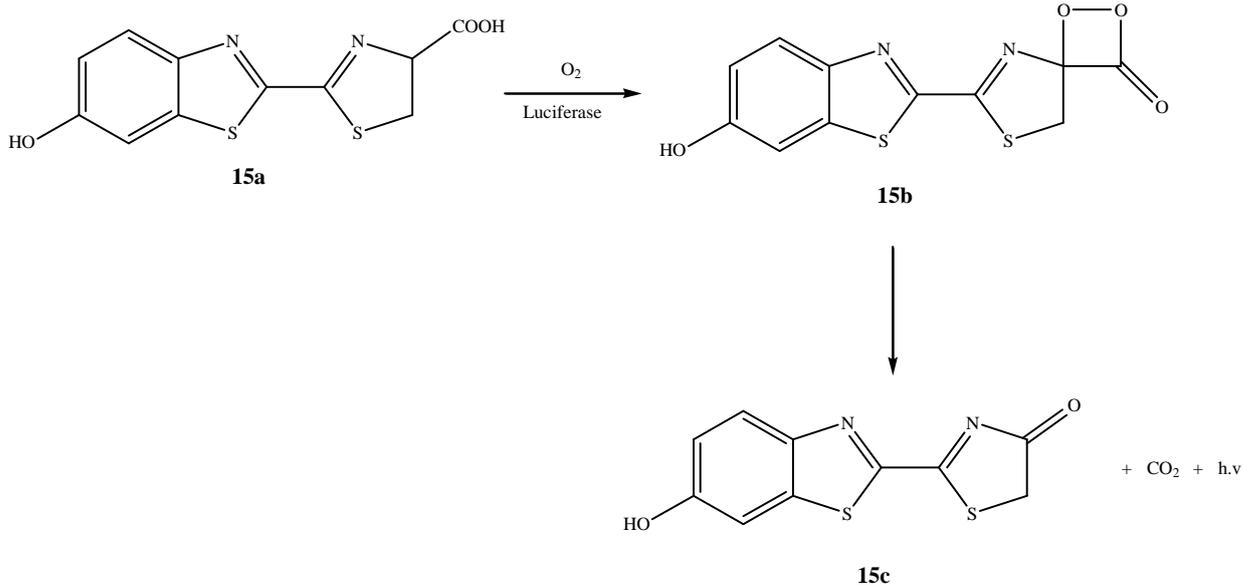


Figura 15 - Esquema da reação de bioluminescência do vaga-lume.

Pela reação podemos observar que há a formação de um intermediário peroxídico altamente instável (15b), que se decompõem, devido a sua grande energia. Essa decomposição resulta na formação da oxiluciferina (15c) e liberação da energia na forma de luz (NERY e BAADER, 2001; VIVIANI, 2007).

Outro tipo de luminescência é a triboluminescência. Esse processo mecânico ocorre quando esmagamos ou friccionamos alguns sistemas cristalinos, sendo observado pela primeira vez por Francis Bacon no início do ano de 1600. Bacon com o auxílio de uma faca esmagou alguns cristais de açúcar e percebeu que eles brilhavam. As razões pelas quais apenas alguns sistemas são mais propensos a sofrer triboluminescência do que outros ainda estão sob investigação, bem como o mecanismo para o entendimento desse fenômeno. Diversos estudos apontam que a quebra da estrutura química desses sólidos provoca a separação de cargas e a consequente liberação de energia. Essa energia é então absorvida por átomos próximos a essa separação, e liberada na forma de luz (MARCHETTI et al., 2012).

A emissão de luz por meio de uma reação química é conhecida como quimiluminescência. Neste fenômeno, a energia necessária para a excitação dos elétrons do sistema provém de uma reação química, e pode ser observado em nosso cotidiano, por exemplo, nas *lightsticks* e no luminol, utilizado nas cenas de crimes para a investigação de vestígios de sangue. O relato do primeiro composto orgânico com propriedades quimiluminescente foi feito em 1887 por Bronislau Radziszewski, que mostrou que a lofina

emitia luz amarela ao reagir com o oxigênio na presença de bases fortes, por meio de uma reação quimiluminescente (BARTOLONI et al., 2011).

Utilizando a definição feita por Stevani e Baader (1999), podemos descrever a ocorrência da reação quimiluminescente da seguinte forma:

A reação quimiluminescente ocorre quando há uma reação química, que leva à produção de uma substância no estado excitado, que, pelo decaimento para o estado eletrônico fundamental, emite luz. De maneira simplificada, podemos dizer que este processo, ocorre porque o produto inicial da reação química é produzido, preferencialmente, no estado eletrônico excitado. Em resumo, reações quimiluminescentes geralmente envolvem a geração de um intermediário de alta energia em um ou vários passos, reação térmica deste intermediário conduzindo a um produto eletronicamente excitado e a liberação da energia de excitação por emissão de luz (STEVANI e BAADER, 1999, p. 715).

A luz gerada nessa reação pode resultar da transição eletrônica entre estados eletrônicos excitados de mesma multiplicidade, processo conhecido como fluorescência, ou pelo processo de fosforescência, que ocorre entre estados eletrônicos de multiplicidades diferentes<sup>9</sup>. Podemos entender melhor esse processo pela análise da reação que ocorre nas pulseiras *lightsticks*. Essas pulseiras distribuídas em festas, também conhecidas como pulseiras neon, foram criadas há aproximadamente vinte anos. A tradução para a palavra *lightstick* é “bastão luminoso”, no entanto, o mercado brasileiro a denominou pulseira neon devido a sua semelhança com as lâmpadas de neon presentes em diversos letreiros luminosos espalhados pela cidade. Porém o fator responsável pela emissão de luz nas *lightsticks* não é o gás neônio, mas sim uma reação química entre seus componentes. Geralmente uma *lightstick* é formada por um tubo plástico contendo uma ampola de vidro dentro (Figura 16).

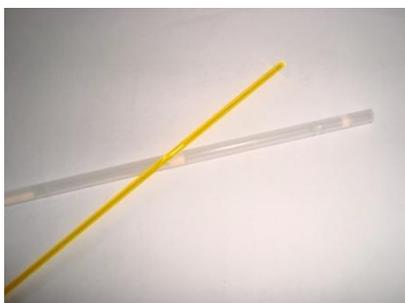


Figura 16 – Tubo plástico e ampola de vidro.

---

<sup>9</sup> Esses dois processos de emissão de luz, a fluorescência e a fosforescência, serão estudados logo mais nessa mesma seção.

No tubo plástico encontram-se o peróxido de hidrogênio, o salicilato de sódio, que atua como catalisador da reação, e o solvente dibutilftalato. Já na ampola de vidro, estão o corante fluorescente e o éster de fenil oxalato. Para iniciar a reação na *lightstick*, a ampola de vidro interna deve ser quebrada fazendo com que seus componentes se misturem. Uma vez misturados, o peróxido de hidrogênio oxida o éster de fenil oxalato para formar fenol e um dímero de CO<sub>2</sub> de alta energia, também conhecido como 1,2-dioxetanodiona. Então, o dímero de CO<sub>2</sub> que é altamente instável, se decompõe em duas moléculas de CO<sub>2</sub>. Essa decomposição gera grande quantidade de energia que é transferida ao corante fluorescente (KUNTZLEMAN et al., 2009; KUNTZLEMAN et al., 2012). A energia absorvida pelo corante promove elétrons da sua molécula até um nível mais excitado. Esses elétrons ao retornarem ao estado fundamental, liberam essa energia na forma de luz (Figura 17).

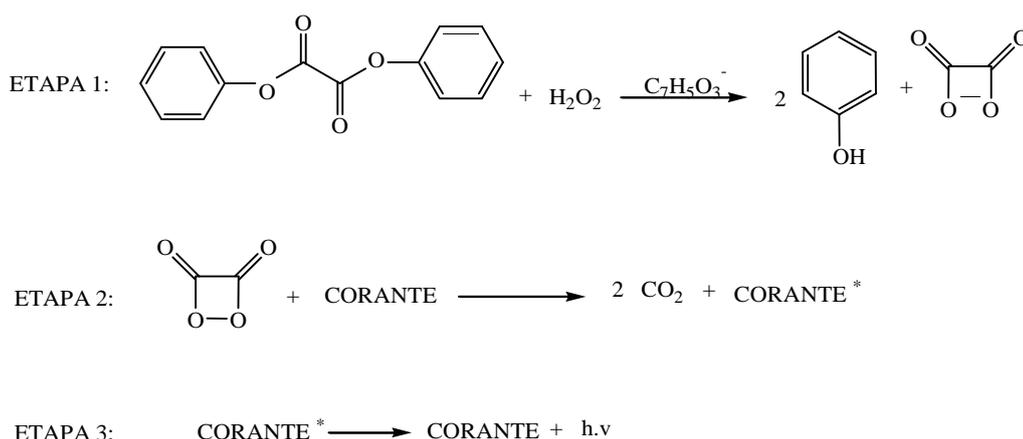


Figura 17 - Esquema reacional que descreve a liberação de energia em uma *lightstick*.

Podemos perceber que a reação de quimiluminescência das *lightsticks* ocorre em três etapas. É na terceira etapa da reação que ocorre a emissão de luz pela pulseira. Diferentes corantes ou misturas de corantes são utilizadas para produzir as cores nas *lightsticks* que podem variar do vermelho ao azul, amarelo, verde, laranja, rosa, entre outras cores<sup>10</sup>.

O último tipo de luminescência que iremos abordar é a fotoluminescência, processo no qual há a emissão de fótons decorrentes da fotoexcitação direta das espécies emissoras. Os dois tipos de fotoluminescência existentes, a fluorescência e a fosforescência, diferem no tipo de níveis envolvidos na transição eletrônica.

<sup>10</sup> Os diferentes corantes presentes nas *lightsticks* serão discutidos na seção 2.7.3 desse trabalho.

O termo fosforescência vem do grego e significa “aquilo que produz luz”. Esse fenômeno pode ser observado em alguns materiais que brilham no escuro depois de exposto à luz. Há diversos relatos que apontam a existência de materiais que se comportam dessa maneira, e o mais famoso deles é a emissão de luz pelo mineral *Bolognian phosphor*, observado por Vincenzo Cascariolo em 1602 (VALEUR, 2001a). Já a palavra fluorescência, a primeira impressão, nos remete associar esse fenômeno a materiais que contenham o elemento químico flúor. No entanto, apesar de alguns minerais contendo flúor apresentarem fluorescência, não é esse elemento o principal responsável por esse fenômeno. Antes da criação do termo fluorescência por George Gabriel Stokes em 1852, o físico espanhol Nicolas Monardes já havia descrito em 1565 o comportamento fluorescente, em determinadas condições, de uma infusão de pedaços da madeira *Lignum nephriticum*. Monardes observou que a infusão apresentava coloração azulada em meio levemente alcalino. Conforme Valeur (2001b), o principal composto químico responsável pela fluorescência azul dessa infusão é tetrahidroximetanobenzofuro[2,3-d]oxazina (Figura 18).

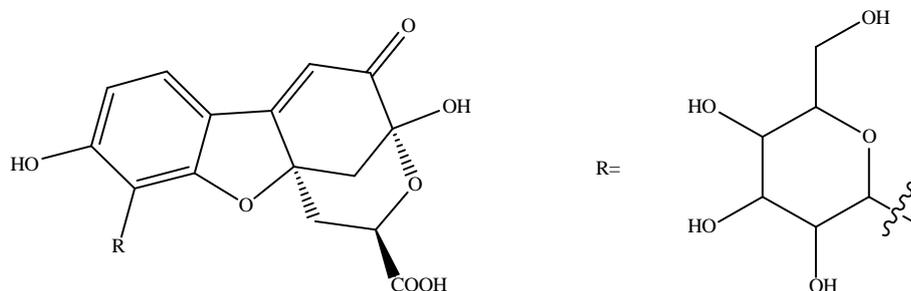


Figura 18 - Representação da estrutura química da molécula de tetrahidrometanobenzofuro[2,3-d]oxazina.

Esse composto não está presente na madeira *Lignum nephriticum*, mas resulta da oxidação espontânea de alguns flavonóides presentes nesse gênero de planta. A observação desse fenômeno, realizada por Monardes, proporcionou sua utilização como método de detecção de objetos falsificados ou não, construídos com essa madeira (VALEUR e BERBERAN-SANTOS, 2011).

A principal diferença entre ambos os tipos de fotoluminescência está relacionado com tempo de emissão de luz após a excitação do sistema eletrônico do objeto analisado (Figura 19). Podemos definir a fluorescência (19a) como sendo o processo de emissão espontânea de radiação, após a absorção de energia por um elétron, que passa de um nível de menor energia,

ou seja, do estado fundamental ao estado excitado. Por ser termodinamicamente instável, o elétron retorna rapidamente do estado excitado para o estado fundamental, acompanhado da liberação de energia na forma de luz (HARVEY, 1957; O'HARA et al., 2005; VALEUR, 2001a). Sabemos que todos os elétrons de um átomo apresentam spins. Dessa forma, existem dois tipos de transições eletrônicas possíveis, dependendo dos spins dos elétrons nos estados excitados. No fenômeno de fluorescência esses estados excitados apresentam mesma multiplicidade, por exemplo, singleto/singleto ou tripleto/triplet<sup>11</sup>.

O fenômeno da fosforescência (19b) é semelhante ao da fluorescência, a diferença é que a emissão espontânea de radiação persiste por um determinado intervalo de tempo, que pode variar de horas até frações de segundos. Além disso, há diferença também na multiplicidade dos estados excitados envolvidos (ATKINS, 2008).

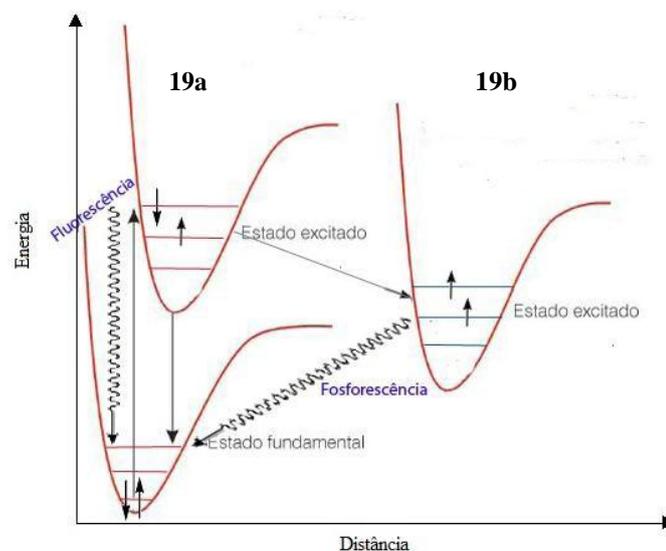


Figura 19 - Diagrama de energia dos fenômenos de fluorescência (19a) e fosforescência (19b).

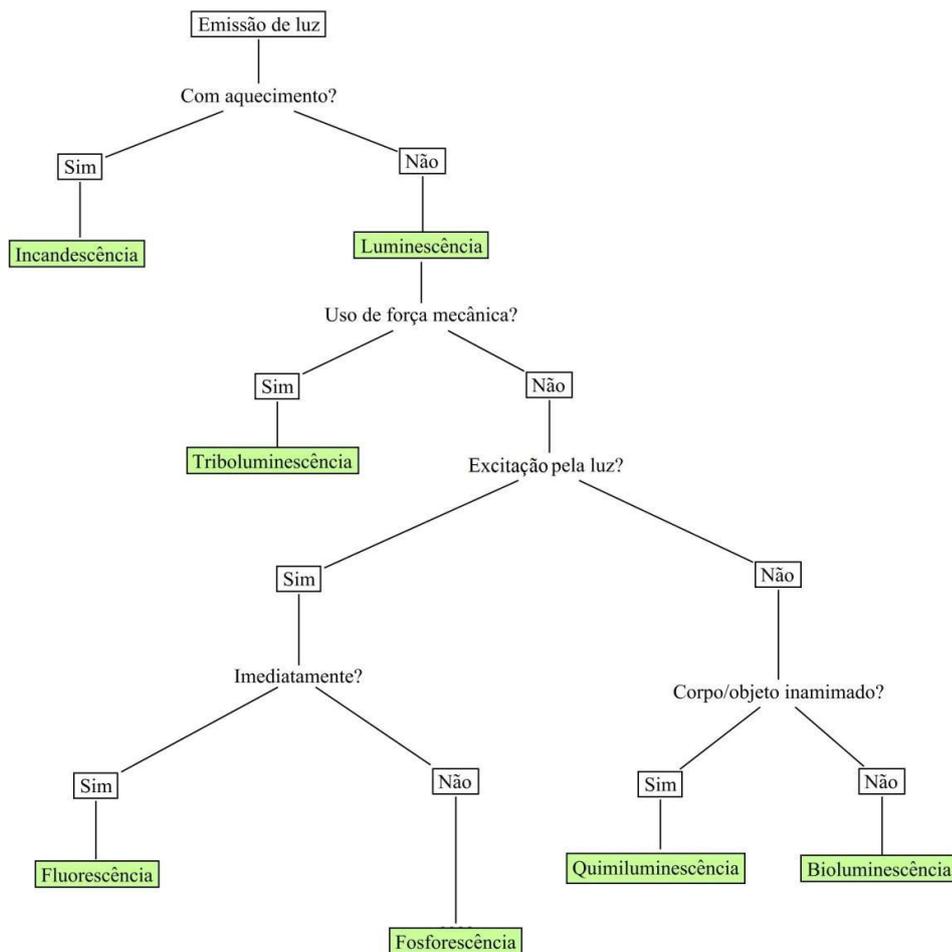
Adaptado de Nery e Fernandez (2004); Atkins (2008).

Todos os processos de emissão de luz que vimos anteriormente nesta seção estavam relacionados com o fenômeno de luz fria, ou seja, não necessitavam de fontes de aquecimento para ocorrerem. No entanto, nós sabemos que alguns corpos quando aquecidos a determinadas

<sup>11</sup> Conforme Harris (2005, p.409), os termos singleto e tripleto são utilizados, pois o estado tripleto se divide em três níveis de energia ligeiramente diferentes quando expostos a um campo magnético. Já no estado singleto, não há indícios de divisão.

temperaturas podem emitir radiação, tal fenômeno é conhecido como incandescência. Em nosso cotidiano, esse fenômeno pode ser visto nas lâmpadas incandescentes presentes em nossas casas. Essa lâmpada possui um filamento metálico de tungstênio que ao ser aquecido pela corrente elétrica emite energia na forma de luz (BRILL, 1980). Assim como nos fenômenos de luminescência, os elétrons do corpo aquecido absorvem a energia que lhe está sendo fornecida, nesse caso através de aquecimento, e saltam do estado fundamental em que se encontram para estados excitados, de maior energia. Como vimos anteriormente, essa energia absorvida é liberada para que o elétron excitado volte ao seu estado fundamental, assim a energia é liberada na forma de luz visível (BAIRD, 2006).

Durante esta seção apresentamos um pouco sobre alguns tipos de emissão de luz por diferentes materiais, reações químicas ou seres vivos. Além disso, a diferença entre os tipos de emissão que foram descritos anteriormente podem ser resumidos no Esquema 9:



Esquema 9 - Resumo dos diferentes processos de emissão de luz.  
Adaptado de O'HARA et al., 2005.

Podemos concluir que apesar dos diferentes tipos de emissão de luz que existem, todos eles estão fundamentados nas transições eletrônicas descritas nos postulados de Niels Bohr na construção de seu modelo para o átomo.

## 2.7.2 A teoria do orbital molecular

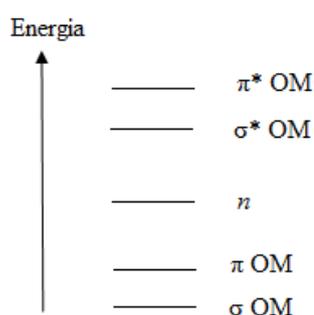
Na seção 2.4.4 deste trabalho, discutimos um pouco sobre as contribuições do físico Schrödinger em relação à equação e função de onda, ou seja, a probabilidade de se encontrar o elétron em uma determinada região do átomo. De acordo com cálculos baseados na mecânica quântica, os gráficos em três dimensões ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) obtidos para essa probabilidade geram as formas familiares dos orbitais atômicos  $s$ ,  $p$ ,  $d$  e  $f$  que utilizamos como nossos modelos para a estrutura atômica (SOLOMONS e FRYHLE, 2001). Podemos dizer que um orbital atômico (OA) é uma região do espaço onde a probabilidade de se encontrar um elétron é muito grande. Cada orbital atômico apresenta forma e energia características e ocupa uma determinada região no espaço, que é prevista pela equação de Schrödinger.

A combinação de orbitais atômicos resulta na formação de orbitais moleculares (OM), percebemos esse tipo de ocorrência nas moléculas orgânicas, por exemplo. Esses orbitais moleculares que se formam pertencem a toda a molécula e envolvem ambos os núcleos dos átomos, assim os elétrons podem se deslocar entre os dois núcleos (BRUICE, 2006). Portanto, podemos afirmar que orbitais moleculares, assim como orbitais atômicos, podem conter no máximo dois elétrons de *spins* emparelhados. Outro ponto importante, é que o número de orbitais moleculares formados é sempre igual ao número de orbitais atômicos que se combinaram para formar o OM.

Há duas maneiras possíveis de combinação entre os orbitais atômicos para a formação dos orbitais moleculares, de forma aditiva ou subtrativa. A forma aditiva, chamada de orbital molecular ligante, apresenta menor energia, ou seja, contém ambos os elétrons no estado de energia mais baixo, ou estado fundamental. Já a forma subtrativa leva à formação de um orbital molecular que apresenta energia muito maior que os orbitais atômicos separados, e é conhecida como orbital molecular antiligante (SANTOS FILHO, 2007; MC MURRY, 2011). Esse orbital só é ocupado quando a molécula absorve um fóton de luz.

No caso de moléculas orgânicas, a combinação aditiva ou subtrativa dos orbitais atômicos para a formação dos orbitais moleculares pode ocorrer pela sobreposição de dois

orbitais atômicos do tipo  $s$  ou do tipo  $p$ . A sobreposição dos orbitais  $s$  conduz à formação de dois orbitais moleculares, um ligante  $\sigma$  e outro antiligante  $\sigma^*$ . Orbitais  $p$  podem se sobrepor alinhados linearmente para formar orbitais moleculares ligantes  $\sigma$  e antiligantes  $\sigma^*$  ou ainda se sobrepor lado a lado para formar orbitais moleculares ligantes  $\pi$  e antiligantes  $\pi^*$  (HENDRICKSON et al., 1970; BRUICE, 2006; MC MURRY, 2011). Desta forma, o diagrama de energias relativas dos orbitais moleculares  $\sigma$  e  $\pi$  pode ser representado de maneira resumida no Esquema 10.



Esquema 10 - Diagrama de representação dos níveis de energia dos orbitais moleculares.

Pela análise do diagrama apresentado, notamos a presença de um orbital  $n$ . Esse orbital é conhecido como não ligante e indica a presença de pares de elétrons livres. No entanto, a ocorrência desse tipo de orbital varia de uma molécula para outra, essa regra também vale para aquelas moléculas que não apresentam ligações duplas, e que conseqüentemente não possuem orbitais do tipo  $\pi$  e  $\pi^*$ . Ainda pela análise do diagrama, percebemos que o orbital molecular ligante  $\sigma$  é o que apresenta menor energia, em comparação com os outros orbitais moleculares. Conforme a teoria do orbital molecular, em uma molécula são esses orbitais que possuem menor energia, os primeiros a serem preenchidos pelos elétrons e assim sucessivamente.

Os orbitais antiligantes apenas serão preenchidos quando a molécula em questão for irradiada com energia eletromagnética. Ao absorver essa energia, os elétrons da molécula presentes nos orbitais moleculares ligantes e/ou não ligantes podem ser deslocados para os orbitais antiligantes. O resultado dessa transição eletrônica é a diferença de energia entre os orbitais moleculares, sendo assim, quanto menor a diferença entre os orbitais moleculares,

maior será o comprimento de onda da luz da faixa do visível absorvida, implicando na sensação de cor (HARRIS, 2005).

No estado fundamental, o orbital molecular ocupado de maior energia é o chamado *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO), já o orbital molecular desocupado de menor energia recebe o nome de *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO). Conforme Mc Murry, (2011, p. 474) “quanto maior a proximidade desses dois orbitais, menor será a diferença de energia entre eles e maior a probabilidade de a molécula absorver radiação do visível e, conseqüentemente, causar a sensação de cor no ambiente”. Porém, essa probabilidade de visualização de cor está relacionada com o tipo de sistema que está sendo analisado, em nosso caso, nos referimos a sistemas com grupos cromóforos (RETONDO e FARIA, 2009; CLAYDEN et al. 2012).

### 2.7.3 As moléculas orgânicas e sua interação com a luz

As cores que observamos na natureza muitas vezes são provenientes de moléculas presentes no ambiente ou sintetizadas pelo homem. Esses compostos que causam a sensação de cor podem ser de dois tipos: orgânicos e inorgânicos. Mas, são os corantes, de compostos orgânicos, que estão mais amplamente distribuídos na natureza como afirma Retondo e Faria (2009, p. 93). As primeiras tentativas de extração e preparo de corantes naturais foi realizada pelos chineses a aproximadamente 3000 a.C., e eram obtidas principalmente a partir de plantas (LE COUTER e BURRESON, 2006). Dentre esses compostos destacamos a clorofila, os carotenos, as xantofilas, os flavonóides e a melanina. A seguir iremos apresentar o comportamento de alguns corantes em relação à luz, suas estruturas químicas e aplicações no cotidiano.

A clorofila é um composto orgânico responsável pela coloração verde das folhas dos vegetais e desempenha papel importante na fotossíntese das plantas. O verde das folhas foi descrito pela primeira vez em 1818 por Pelletier e Caventou, e é observado, porque a molécula de clorofila absorve luz violeta e vermelha da luz incidente, condições necessárias para que a luz refletida por ela seja verde (BOBBIO e BOBBIO, 1989). A estrutura química da clorofila (Figura 20) é formada por um sistema de anéis pirrólicos substituídos com átomos de nitrogênio que se ligam ao íon  $Mg^{2+}$  (COULTATE, 2004; SCHWARTZ et al., 2010).

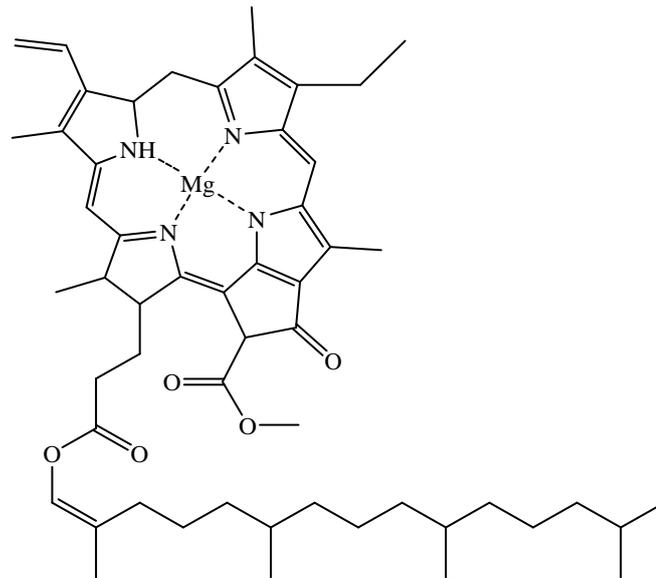


Figura 20 - Representação da estrutura química da molécula de clorofila.

Pela análise de sua estrutura química, observamos que a clorofila apresenta uma grande quantidade de elétrons  $\pi$  deslocalizados e ligações  $C=C$  conjugadas com ligações  $C=N$ . Além disso, os orbitais  $\pi$  e orbitais  $n$  também estão preenchidos no estado fundamental. Ao absorver luz da faixa que compreende o visível do espectro eletromagnético, os elétrons do estado fundamental da clorofila são deslocados para o estado excitado. Como já vimos, a energia da luz que não é absorvida é refletida, dessa forma a combinação dos comprimentos de onda da luz refletida pelas moléculas de clorofila ativam, em nossos olhos, os cones sensíveis ao verde, conferindo essa coloração as folhas (KARP, 2005; RETONDO e FARIA, 2009).

Além dos corantes naturais, há também aqueles desenvolvidos pela indústria. Esses corantes sintéticos muitas vezes são utilizados para substituir os corantes naturais, devido a sua grande demanda, ou até mesmo para proporcionar diferentes cores e efeitos, dependendo de sua finalidade. Foi a partir do século XVIII, conforme Le Couter e Burreson (2006), que foram criados os primeiros corantes sintéticos da história mundial. Dentre eles, destacamos o ácido pícrico, sintetizado pela primeira vez em 1771, amplamente utilizado em munições durante a Primeira Guerra Mundial. Inicialmente essa substância foi empregada como corante para lãs e sedas no ano de 1788, embora apresentasse um tom amarelo intenso, tinha péssima fixação nos tecidos. Além disso, a molécula de ácido pícrico é composta por grupos nitrados, tendo alto poder explosivo (Figura 21).

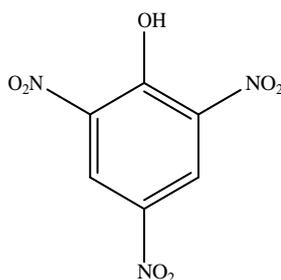


Figura 21 - Representação da estrutura química da molécula de ácido pícrico.

Outros corantes sintéticos que merecem destaque são aqueles presentes nas pulseiras *lightsticks*. Como já vimos na seção 2.7.1 deste trabalho, diferentes compostos químicos apolares são usados para dar cor às pulseiras. Para que o corante inicie a emissão de luz, é necessária a formação do dímero 1,2-dioxetanodiona, que transferirá sua energia ao corante. No Quadro 1 listamos alguns possíveis corantes presentes nas *lightsticks* e suas respectivas cores.

Cor	Nomenclatura	Corante
Amarelo	1,5-dicloro-9,10-bis(feniletinil)antraceno	
Rosa	Mistura dos corantes 9,10-bisfenilantraceno (azul) 5,12-bis(feniletinil) naftaceno (vermelho)	
Azul	9,10-bisfenilantraceno	

Quadro 1 - Possíveis corantes responsáveis pelas cores das *lightsticks*.

Adaptado de KUTZLEMAN et al., 2009.

De acordo com Kutzleman et al. (2009), em alguns casos, as cores da luz emitida pelas pulseiras podem variar dependendo do tipo de solvente e da concentração de corante presente nelas. Além disso, é difícil determinar com precisão qual o corante responsável por cada cor nas *lightsticks*.

Em nosso trabalho já discutimos sobre os diferentes processos de emissão de luz, bem como o comportamento de compostos orgânicos que emitem luz quando estimulados por diferentes fatores. Contudo, alguns compostos inorgânicos também emitem luz, sendo assim, a partir de agora iremos descrever um pouco sobre esse comportamento.

#### 2.7.4 Transições eletrônicas do tipo *d*: compostos inorgânicos

Ao analisarmos os elementos químicos do bloco *d* do quarto período da tabela periódica, observamos que muitos, na forma de seus sais, apresentam cores. As diferentes cores resultam das transições eletrônicas causadas pela absorção da luz visível. Essa absorção de luz por íons metálicos, presentes em compostos inorgânicos, pode ser relacionada às transições eletrônicas do tipo *d*. A existência de orbitais *d* com diferentes energias permite a excitação de elétrons de um nível de energia para outro. As transições do tipo *d-d* e a energia requerida para que ela ocorra, correspondem a um determinado comprimento de onda da região do visível (RETONDO e FARIA, 2009). No entanto, quando o subnível *d* de alguns desses elementos estiver totalmente preenchido, ou ainda, ele não possuir elétrons *d*, essas transições não podem ocorrer, como consequência, não há cor. Esse é o caso do elemento químico zinco (ORNA, 1980b).

As cores exibidas por muitas gemas e pedras preciosas também estão relacionadas com as transições eletrônicas do tipo *d-d*. O mineral rubi, formado basicamente por óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) apresenta a coloração vermelha, por exemplo, devido às transições eletrônicas dos traços de impurezas de cromo. Mas não são apenas as pedras preciosas que apresentam esse tipo de comportamento. Os fogos de artifício são a principal aplicação desse tipo de transição.

A história dos fogos de artifício tem início na antiguidade, quando a pólvora negra foi inventada e utilizada por diversos povos como explosivo nas batalhas. Conforme manuscritos da época, a descoberta da pólvora está relacionada com a busca constante dos chineses pelo elixir da imortalidade (SCHARCZ, 2009). Atualmente, a pólvora também é empregada na

composição química dos famosos fogos de artifício, associada a diferentes sais. Esses sais são compostos por diferentes metais da tabela periódica, sendo cada um deles responsável pelas cores que visualizamos em um show pirotécnico. As diversas cores dos fogos de artifício são provenientes das transições eletrônicas de diferentes metais, tais como sódio (Na), cobre (Cu), bário (Ba), estrôncio (Sr), ferro (Fe), entre outros (SILVA, et al., 2011). A relação entre as cores visualizadas e o metal responsável é apresentada no Quadro 2:

<b>Cor dos fogos de artifício</b>	<b>Elemento(s) químico(s)</b>
Azul-esverdeado	Cobre
Dourado	Ferro
Laranja	Sódio
Lilás	Potássio
Verde	Bário
Vermelho	Estrôncio

Quadro 2 - Metais responsáveis pela coloração nos fogos de artifício.

Nos metais de transição, o ferro, o cobre e o titânio, que possuem o subnível *d* incompleto, quando excitados sofrem transições eletrônicas do tipo *d-d*, absorvendo energia com comprimento de onda da região do visível que possibilita a transição eletrônica. Esses elétrons ao retornarem ao seu orbital de origem liberam essa energia nas cores correspondentes ao seu comprimento de onda (RETONDO e FARIA, 2009). Já nos metais representativos, como o sódio, o alumínio e o bário, as transições ocorrem entre os orbitais *s-p*, *p-d* ou *d-f* (ORNA, 1978).

A trajetória que percorremos nesse capítulo, nos proporcionou conhecer um pouco mais sobre a estrutura da matéria e sua estreita relação com o nosso cotidiano, principalmente em relação às cores emitidas por diversos corpos e processos de emissão de luz.



### **CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS RECURSOS VISUAIS UTILIZADOS NA ABORDAGEM DOS MODELOS ATÔMICOS PELOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA APROVADOS NO PNLD 2012**

O estudo da Química deve proporcionar aos estudantes a capacidade de interpretar fatos e fenômenos do seu cotidiano à luz da teoria científica. Neste sentido, para a compreensão da Química é necessário o entendimento do conceito de átomo, que por exigir certo nível de abstração, não é uma tarefa trivial para os estudantes do ensino médio.

A compreensão da estrutura da matéria, essencial para a continuidade dos estudos em Química, implica na transição entre os diferentes níveis de representação: macroscópico, microscópico e simbólico (JOHNSTONE, 1993; CÁSSIO et al., 2012). Desta forma, pode-se afirmar que independente do aprofundamento do estudo, seja no ensino fundamental ou médio, é necessário que os estudantes sejam capazes de transitar entre esses níveis para que tenham embasamento teórico para o entendimento da natureza e a interpretação de seus fenômenos. Entretanto, conforme apontam as pesquisas de Pozo (2001), Chittleborough e Treagust (2007), França et al. (2009), os estudantes encontram dificuldades em realizar essa transição, visto que para isso devem estabelecer relações entre o microscópico e o macroscópico, além de reconhecerem e relacionarem códigos, símbolos e sinais.

Um dos recursos que se pode recorrer para amenizar essa dificuldade é a utilização de imagens no ensino de Química. Os recursos visuais desempenham uma função primordial na aprendizagem dos estudantes, quando bem utilizados auxiliam na promoção do entendimento de muitos conceitos, sendo mais significativos quando transitam entre os três níveis de representação. Isso é evidenciado no trabalho de Lemes et al. (2010) que relaciona o valor didático das imagens com os três aspectos do conhecimento químico propostos por Mortimer et al. (2000) – fenomenológico, teórico-conceitual e representacional. Esses aspectos do conhecimento químico estão relacionados com os níveis de representação citados anteriormente, no qual o fenomenológico corresponde ao macroscópico, que está ligado aos sentidos, ou seja, as relações sociais que os estudantes estabelecem entre a Química e a sociedade. O aspecto teórico-conceitual diz respeito ao nível microscópico, envolve explicações baseadas em modelos abstratos que abrangem entidades não observáveis como átomos e moléculas. Por fim, o aspecto representacional está associado ao nível simbólico,

que utiliza a linguagem química, como por exemplo, fórmulas, gráficos, equações químicas e representações de modelos.

Sendo assim, a utilização de imagens pode auxiliar na transição entre esses níveis, aspecto fundamental para a compreensão da estrutura da matéria, que exige dos estudantes elevada capacidade de abstração, pois o foco de estudo são entidades microscópicas (átomos e moléculas) e suas partículas constituintes. Considerando o papel de destaque dos livros didáticos (LD) na educação brasileira (LOPES, 1992; ECHEVERRÍA et al., 2010; VIDAL e PORTO, 2012) e que esses utilizam em grande quantidade diversos recursos visuais, o objetivo deste estudo foi analisar as representações visuais utilizadas pelos livros de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2012 na abordagem do conteúdo de modelos atômicos.

Para o desenvolvimento desta pesquisa consideramos que a imagem é uma forma de linguagem e, portanto, constitui uma importante ferramenta no entendimento de conceitos abstratos utilizados pela Química e que o livro didático é o recurso mais influente na prática docente e no direcionamento do estudo dos alunos. Esses pressupostos nos conduziram ao questionamento “qual o objetivo didático das imagens utilizadas pelos autores dos LD e a sua influência na aprendizagem dos modelos atômicos?”. Antes de apresentarmos os resultados deste estudo, discutiremos sobre algumas pesquisas desenvolvidas na área de ensino de Ciências tendo como foco os LD e o valor didático dos recursos visuais utilizados por esse material. Além disso, descreveremos o método de análise e levantaremos algumas considerações a partir dos resultados obtidos.

### **3.1 Investigações nos livros didáticos**

Em nossas vivências nas escolas da rede pública de ensino, tanto como professores ou como pesquisadores desenvolvendo nossas investigações, percebemos o papel central que os livros didáticos ocupam no processo de ensino e aprendizagem. Em muitos casos, esse material didático é a principal referência para a organização do currículo escolar, sendo que o planejamento dos conteúdos do ano letivo é feito a partir das considerações de um único LD. Além disso, os estudantes gastam a maior parte do seu tempo de estudo em sala de aula ou em casa com textos, recursos visuais e exercícios apresentados por esses livros. Essas nossas constatações, não são inéditas para a área de ensino de Ciências, pois no Brasil, desde a

década de 80 estudos revelam essa realidade (SCHNETZLER, 1981; LAJOLO, 1996). Entretanto, percebemos que as pesquisas com foco nos LD se intensificaram nas décadas seguintes, e muitas delas justificadas pela abrangência, impacto, importância e utilidade desse recurso no ensino. Deve ficar claro que o intuito desta pesquisa não é criticar a utilização dos LD no ensino, pois é inegável sua função didática e presença nas escolas, mas sim contribuir para o aprimoramento da qualidade deste material, bem como suscitar reflexões em relação à maneira como ele vem sendo utilizado por estudantes e professores.

Diversas pesquisas acadêmicas contribuíram significativamente para a qualidade dos LD. Desta forma, acreditamos ser conveniente destacar algumas delas com o intuito de realizar um levantamento dos trabalhos já publicados e situar dentro da área de ensino de Ciências o diferencial da nossa investigação.

Com o objetivo de contribuir para reflexões mais profundas a respeito da utilização do LD nas escolas de ensino médio, Loguercio et al. (2001) realizaram um estudo com cento e noventa e oito professores de Química em relação a dinâmica de analisar os LD. O foco dessa investigação é evidenciar como os professores escolhem, leem, utilizam e constroem os currículos com auxílio dos LD, bem como os critérios empregados em suas escolhas. Foi constatado que as principais preocupações dos professores na escolha dos LD estão relacionadas com a valorização excessiva do conteúdo, a presença de exercícios de vestibulares e alguma alusão ao cotidiano. A partir dessas constatações, os autores inferem que a ideia que predomina entre os professores analisados é a de que o conhecimento químico presente nesses livros é tido como certo, definitivo e inquestionável. Outros critérios como atividades experimentais, temas geradores, interdisciplinaridade, linguagem adequada ao aluno, ilustrações com boa qualidade gráfica, entre outros também foram considerados essenciais pelos professores na seleção dos LD, conforme apontam as pesquisas realizadas por Maia et al. (2011) e Megid Neto e Fracalanza (2003).

A contextualização, estratégia fundamental para a construção de conhecimentos significativos, também foi um dos critérios considerados pelos professores e é tema de estudo de Wartha e Faljoni-Alário (2005). Este trabalho analisa os diferentes tipos de contextualizações presentes nos LD do ensino médio de Química e os resultados indicam a existência de duas distintas concepções: descrição científica de fatos do cotidiano do aluno e estratégia de ensino e aprendizagem. Além disso, os livros analisados não apresentam termos que contextualizem o conhecimento químico na perspectiva da discussão de temas sociais, ambientais, tecnológicos, éticos e econômicos que forneçam informação ao estudante enquanto cidadão.

Na tentativa de inserir temas que aproximem os conteúdos curriculares com o cotidiano escolar e contribuir para a formação cidadã dos estudantes, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) orientam para que os professores além do desenvolvimento dos conteúdos de Química, abordem alguns aspectos socioculturais e teórico-metodológicos (BRASIL, 2002). Os aspectos socioculturais e preceitos éticos sugeridos pelos PCNEM são: diversidade, meio ambiente, exercício da cidadania, leis e normas de segurança, conhecimento popular e ética na Ciência; já os aspectos teórico-metodológicos compreendem: conhecimento prévio, Ciência como construção coletiva, Ciência como construção histórica, leituras complementares e contextualização. Tais aspectos foram utilizados como critérios para a análise dos LD de Química na pesquisa de Theodoro et al. (2011), e apontam três diferentes concepções de ensino e aprendizagem dos autores dos livros. Essas concepções se diferenciam pela frequência de atividades que priorizam os aspectos sugeridos pelo PCNEM. A primeira categoria contempla os LD que apresentam uma visão mais tradicional do ensino e a terceira categoria se refere aos LD que propõem atividades que valorizam a participação do estudante na aprendizagem dos conteúdos químicos e no desenvolvimento de habilidades, sendo a segunda uma categoria intermediária. Os autores deste trabalho enfatizam para a importância de os professores do ensino médio interpretarem as diferentes concepções de ensino propostas pelos LD.

As concepções de Ciência dos LD de Química na abordagem do conteúdo de cinética química foi tema de estudo de Martorano e Marcondes (2009). Foram analisados vinte LD editados no período de 1929 a 2004 sob o ponto de vista de duas perspectivas filosóficas: empirista/indutivista e racionalista, sendo que a principal diferença entre essas correntes é a ideia de que a Ciência não se desenvolve de forma contínua, e sim através de conflitos entre teorias. Por meio da análise dos LD, observou-se que a perspectiva filosófica que predomina é a empirista/indutivista, ou seja, as características mais frequentes apresentadas para a Ciência são: conjunto de enunciados universais, progresso contínuo e acumulativo. As autoras ainda ressaltam que os LD não são neutros no que diz respeito à imagem de Ciência que transmitem e alertam aos professores que o LD escolhido pode ter influência na visão dos alunos sobre a Ciência.

Outro aspecto a ser considerado nos LD é a abordagem histórica da Ciência, que proporciona aos estudantes a compreensão desta como processo social, não linear e descontínuo (SOLBES e TRAYER, 2001; BRASIL, 2002; PORTO, 2010). Neste sentido, o foco do trabalho de Vidal e Porto (2012) é investigar a presença da história da Ciência nos LD de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

(PNLEM) - 2007. Os resultados indicam que a história da Ciência nos LD é apresentada de maneira linear e superficial, constando de nomes e datas, desta forma não contribuindo para o entendimento de como a Ciência se desenvolve. Ainda neste trabalho é sugerido que os professores do ensino médio procurem materiais alternativos aos LD, se pretendem desenvolver em seus alunos habilidades relativas à história da Ciência.

O conceito de oxidação-redução nos LD de Química também foi alvo de pesquisa. O trabalho de Mendonça et al. (2004) investigou como esse conceito é abordado em dezessete livros utilizados no ensino médio. Os resultados revelam que a maioria dos LD analisados faz referência pouco adequada aos critérios pesquisados, que são: abordagem revisória do conceito de oxidação, relação do conceito de oxidação com o número de oxidação, contextualização na apresentação do conteúdo e reações de oxidação sem o oxigênio. Os autores consideram de fundamental importância para a compreensão do conteúdo de oxidação-redução que os LD enfoquem em sua abordagem os seguintes tópicos: fenômeno da transferência de elétrons, a variação do número de oxidação no carbono nestas reações, a similaridade entre os fenômenos de oxidação e combustão, entre outros. Além disso, destacam a importância do desenvolvimento das reações de oxidação desvinculado da presença obrigatória de oxigênio.

Cássio et al. (2012) realizaram uma pesquisa em LD de Química voltados para o ensino médio e superior focando no papel atribuído aos íons nas transformações químicas em solução aquosa. De maneira geral, os LD do ensino médio subestimam a presença de íons nas transformações químicas, simplificando sua esquematização. Já os livros utilizados no ensino superior apresentam maior coerência, conferindo aos íons o seu devido protagonismo durante as transformações químicas em solução. Embora os autores reconheçam que no ensino médio é necessária certa simplificação, acreditam que não deve ocorrer a ocultação do protagonismo dos íons nos processos químicos em fase aquosa. Ainda alertam para o fato de que os professores de Química possuem duas opções, a memorização dos conceitos por parte dos alunos ou a sua compreensão por meio da representação química.

Apesar de todas as limitações ainda encontradas, os LD continuam sendo a principal ferramenta utilizada no processo de ensino e aprendizagem pelos professores e alunos das escolas brasileiras. É certo de que esses estudos e tantos outros que não foram citados neste capítulo contribuíram de forma significativa na qualidade dos atuais LD, esperamos que esta pesquisa venha a acrescentar nestas discussões e desta forma contribua com a educação em Química de nosso país.

### 3.2 As funções dos recursos visuais no ensino

Para o estudo da Química em nível atômico e molecular os níveis de representação (macroscópico, microscópico e simbólico) são fundamentais. Os estudantes que desenvolvem a habilidade de transitar entre esses níveis obtêm sucesso na compreensão dos conceitos químicos. Uma das principais funções da utilização dos recursos visuais na Química é justamente promover essa transição e auxiliar os estudantes no entendimento dos conceitos abstratos.

Existem várias definições para o conceito de imagem que podem variar de acordo com a área do conhecimento ou com o contexto em que está sendo empregada. Conforme Santaella e Nöth (1998) os recursos visuais podem ser classificados como representação mental ou visual. A primeira, está relacionada com a representação de aspectos imateriais e pode ser do tipo desenho, esquema, modelo e pintura. Já as representações visuais tratam do domínio visual, ou seja, de objetos materiais que aparecem na forma de desenho, fotografia, entre outros. Consideramos essa classificação pertinente para o estudo das imagens no campo da Química, pois contempla os três níveis de representação necessários para a compreensão dessa Ciência.

As representações visuais são singularmente importantes na construção do conhecimento científico, pois possuem um potencial para comunicar aspectos da natureza e para indicar o conteúdo de ideias (POZZER-ARDENGHI e ROTH, 2005). De acordo com Johnson-Laird (1983), as imagens são visualizações internas de um modelo, ou seja, são visualizações mentais que o sujeito utiliza para compreender o mundo.

Sendo assim, é interessante a utilização dos recursos visuais no ensino de Química, pois podem desenvolver nos estudantes a habilidade de interpretar os fenômenos químicos em nível molecular (PASELK, 1994). Nesta perspectiva, Gibin e Ferreira (2013) constataram que o nível simbólico é o mais utilizado no ensino formal de Química, entretanto apontam que

o uso de imagens que apresentam os diferentes níveis de representação do conhecimento químico pode auxiliar no estabelecimento de relações entre a teoria e a prática no processo de imaginar os fenômenos químicos. É importante ressaltar a importância do emprego de imagens que representam o nível submicroscópico, que evidenciam as espécies químicas que não são observáveis e, por isso, auxiliam no processo de compreensão de um fenômeno químico (GIBIN e FERREIRA, 2013, p. 25).

Vale ressaltar que a maioria dos recursos visuais utilizados no ensino médio provém dos livros didáticos adotados pelas escolas, e que para o entendimento dos conteúdos científicos apresentados por este material é necessário, além da compreensão do texto escrito, a adequada interpretação das imagens que o acompanham. Portanto, é fundamental conhecer as funções didáticas que as imagens presentes nos LD podem desempenhar na aprendizagem dos estudantes. Neste contexto, Perales e Jiménez (2002) realizaram uma revisão na literatura a respeito da função didática das imagens, dentre elas destacam:

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

Apesar da relevância das funções didáticas das imagens, em diversas situações, estas ainda são utilizadas pelos LD de maneira superficial, não satisfazendo as necessidades dos estudantes na compreensão de muitos conteúdos. Esta observação impulsionou diversas pesquisas que investigaram o valor didático dos recursos visuais presentes nos LD.

O trabalho desenvolvido por Coutinho et al. (2010) analisou seiscentas e setenta e seis imagens de quatro coleções de LD de Biologia. Com base na teoria da carga cognitiva, os autores evidenciaram a predominância de imagens classificadas como “sem valor didático” e “com carga cognitiva alta”, sendo essa última considerada de difícil leitura pelo aluno. Isso pode dificultar a organização e o processamento das informações na memória do leitor, além disso, prejudicar o processo de aprendizagem.

As representações presentes em seis LD de Química para o processo de dissolução foram analisadas por Lemes et al. (2010). Dentre os resultados obtidos, destacam a identificação de ilustrações com inadequações conceituais, além do pouco destaque dado as entidades submicroscópicas nessas representações. A tese de Kiill (2009) tem como objeto de estudo as imagens contidas nos livros didáticos de Química aprovados no PNLEM/2007. As representações visuais presentes no capítulo de equilíbrio de químico foram categorizadas com o objetivo de investigar suas contribuições para o processo de significação deste conteúdo. Os resultados da análise mostraram que a maioria das imagens representa o conhecimento químico considerando apenas o aspecto macroscópico e um grande número

delas apresenta caráter meramente ilustrativo, o que em geral colabora pouco para o processo de significação do conteúdo de equilíbrio químico.

A pesquisa de Matus et al. (2011) classifica as imagens utilizadas em dezoito LD, de três níveis de ensino da educação argentina, em: grau de iconicidade, linguagem envolvida e o modelo atômico exigido para a compreensão do conteúdo de ligação química. Após a análise, fizeram algumas generalizações. Em relação ao grau de iconicidade, observaram que a medida que o nível de ensino aumenta, diminui o grau de iconicidade, ou seja, aumenta a abstração das representações. A respeito do tipo de linguagem envolvida o uso de representações gráficas diminui gradualmente ao ascender de nível. Por último, o modelo atômico utilizado para a representação das ligações químicas que considera a configuração eletrônica é uma constante nos livros dos três níveis de ensino. No nível mais básico encontram-se um número expressivo de representações que não consideram as configurações eletrônicas dos átomos, em contrapartida, os livros do nível mais avançado apresentam uma quantidade apreciável de ilustrações que utilizam o modelo ondulatório. Os autores ainda reforçam o cuidado que se deve ter na utilização das representações em cada nível educativo e concluem que essas são muito diversas.

A partir de uma revisão teórica, Perales (2006) apresenta algumas iniciativas que devem ser consideradas para a utilização das imagens em seus distintos formatos sobre a educação científica formal e informal. Algumas possibilidades destacadas foram: a imagem deve ser avaliada do ponto de vista didático, da mesma forma que a linguagem verbal; as imagens devem ser cuidadosamente selecionadas; assim como grande parte das atividades em sala de aula envolve o trabalho com textos escritos, também deveriam ser incluídas, na mesma medida, atividades que priorizem a utilização de imagens; as imagens não substituem as experiências sensoriais; os conteúdos menos realistas devem ser mais favorecidos pela utilização de imagens; é imprescindível que tanto na formação inicial como no desenvolvimento profissional, os professores tenham oportunidades de conscientizar-se sobre a importância didática das imagens.

A seguir, apresentaremos o método de análise das representações visuais dos LD de Química que utilizamos relacionados com a abordagem do conteúdo de modelos atômicos.

### 3.3 Análise dos livros didáticos

Nesta pesquisa, buscamos analisar as representações visuais utilizadas pelos livros de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2012 na abordagem do conteúdo de modelos atômicos. Para isso, em um primeiro momento nos baseamos nas categorias propostas por Perales e Jiménez (2002), que são: sequência didática, iconicidade, funcionalidade, relação com o texto principal, etiquetas verbais e conteúdo científico. Essas categorias são importantes para avaliar a maneira como as figuras são empregadas nos LD e a sua relação com o texto, aspectos que podem influenciar na construção da ideia da estrutura da matéria. No Quadro 3 estão elencadas as categorias utilizadas para a análise e suas definições.

<b>Categoria</b>	<b>Definição</b>
Sequência didática	São os textos ou parágrafos utilizados para a geração das imagens.
Iconicidade	É o grau de complexidade das imagens.
Funcionalidade	A função da imagem como ferramenta didática.
Relação com o texto principal	São as referências mútuas entre o texto e imagem.
Etiquetas verbais	Textos incluídos dentro das ilustrações que auxiliam na interpretação de elementos das imagens.
Conteúdo científico	Refere-se ao conteúdo específico da temática analisada.

Quadro 3 - Definição das seis categorias.

Durante a definição das categorias, procuramos não divergir dos significados atribuídos a elas por Perales e Jiménez (2002), entretanto, algumas modificações foram realizadas a fim de melhor adaptá-las para esta análise. Cada uma dessas categorias ainda se subdivide em subcategorias, denominadas unidades elementares. A seguir descreveremos de forma detalhada as categorias e suas respectivas unidades elementares utilizadas na análise. Na categoria sequência didática analisamos as afirmações, referências e problemas apresentados pelos autores dos LD ao longo do texto que antecedem e sucedem as imagens. Para essa análise consideramos que os textos foram elaborados baseados na premissa de que serão lidos sequencialmente pelos estudantes, ou seja, avaliamos se há um planejamento na

ordem em que os parágrafos são apresentados. A sequência didática foi fragmentada em seis unidades elementares (Quadro 4), que auxiliaram na classificação dessa categoria.

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

Quadro 4 - Unidades elementares para a análise da sequência didática.

A iconicidade estabelece um grau crescente de simbolização, no qual as imagens se assemelham ao objeto representado por ela. Desta forma, quanto maior o nível de iconicidade menor a abstração da imagem, ou seja, mais realista ela é, em contrapartida, imagens menos realistas (mais abstratas) exigem um maior conhecimento do código simbólico utilizado e menor grau de iconicidade. Em relação a essa categoria, as imagens foram classificadas conforme Quadro 5.

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

Quadro 5 - Unidades elementares para a análise do grau de iconicidade.

Com relação à categoria funcionalidade, a utilização de imagens para expressar ideias é comum no ensino de Ciências, tanto para facilitar o entendimento dos conceitos científicos como para ilustrar um fato ou até mesmo um conceito. Particularmente no ensino dos modelos atômicos pode-se fazer uso de uma diversidade de meios de expressão, tais como: desenho manual, símbolos e códigos que representem os conceitos ou a representação gráfica presentes nos LD. Neste contexto, os recursos visuais podem ser classificados quanto à funcionalidade em três unidades, conforme Quadro 6.

<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Inoperante	A ilustração não apresenta nenhum elemento utilizável, apenas cabe observá-la.
Operativa elementar	A ilustração contém elementos de representação universal.
Sintática	A ilustração contém elementos que exigem o conhecimento de normas específicas.

Quadro 6 - Unidades elementares para a análise da funcionalidade das imagens.

Na categoria relação com o texto principal, é investigado se o texto narrativo ou argumentativo apresenta relação com os recursos visuais. As informações contidas nas imagens muitas vezes são descontínuas, e por si só não expressam o completo significado

quando separadas do texto. Sendo assim, esta categoria se divide em conotativa, denotativa e sinóptica (Quadro 7).

<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Conotativa	O texto descreve os conteúdos sem mencionar sua correspondência com os elementos incluídos na ilustração. Supostamente, estas relações são óbvias e o leitor pode fazê-las.
Denotativa	O texto estabelece a correspondência entre os elementos contidos na ilustração e os conteúdos representados.
Sinóptica	O texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados, além disso, estabelece as condições nas quais as relações entre os elementos incluídos na ilustração representam as relações entre os conteúdos, de modo que a imagem e o texto formam uma unidade indivisível.

Quadro 7 - Unidades elementares para a análise da relação com o texto principal.

As etiquetas verbais são os textos presentes nas ilustrações, que auxiliam em sua interpretação. Apesar dessa categoria se parecer com a anterior (relação com o texto principal), o fato de o texto estar na própria ilustração ou ser externo a ela permite distinguir uma ilustração autossuficiente de uma dependente do texto não ilustrado. As unidades elementares das etiquetas verbais estão no Quadro 8.

<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Sem etiqueta	A ilustração não contém nenhum texto.
Nominativa	Contém letras ou palavras que identificam alguns elementos da ilustração.
Relacionável	Textos que descrevem as relações entre os elementos da ilustração.

Quadro 8 - Unidades elementares para a análise da etiqueta verbal.

A categoria conteúdo científico é específica da temática analisada, neste caso os modelos atômicos. Desta forma, as ilustrações dos LD foram quantificadas levando em consideração os modelos atômicos aceitos cientificamente, sendo assim essa categoria foi

dividida nas seguintes unidades: Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e modelo atual. No Quadro 9 estão os critérios utilizados para a classificação de cada recurso visual.

<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Dalton	Ideia de indivisibilidade, maciço e indestrutível.
Thomson	Existência de partícula com carga elétrica e divisibilidade do átomo.
Rutherford	Ideia de núcleo positivo, movimento dos elétrons ao redor do núcleo e existência de espaços vazios.
Bohr	Caráter dual do elétron e energia quantizada.
Modelo atual	Aspectos relacionados com estudos atuais para a explicação da estrutura da matéria.

Quadro 9 - Unidades elementares para a análise do conteúdo científico.

Em um segundo momento da análise, procuramos investigar se as imagens presentes nestes livros auxiliam os estudantes na transição entre os três níveis de representação da matéria, classificando-as em: macroscópicas, microscópicas e simbólicas. A primeira faz menção a aspectos observáveis e realistas, muitas vezes as imagens desse tipo são empregadas apenas para contextualizar, situar os leitores sobre um fato ou determinado período da história. A categoria microscópica apresenta representações inobserváveis, contemplando o mundo microscópico. A última classificação, além de representar o microscópico apresenta símbolos e códigos específicos da Química.

A metodologia utilizada para avaliação das representações visuais dos livros didáticos foi realizada por três pesquisadores, da área de ensino de Química, que analisaram independentemente os capítulos referentes ao conteúdo de modelos atômicos presentes nos primeiros volumes das coleções aprovadas pelo PNLD 2012 (Tabela 3). As divergências nas classificações propostas pelos pesquisadores, quando ocorreram, foram novamente avaliadas e discutidas pelos mesmos em conjunto, com a finalidade de entrarem em acordo. Para essa análise consideramos as representações do tipo fotografia, desenho, diagrama, esquema, gráfico e tabela que foram analisadas nas categorias propostas por Perales e Jiménez (2002). Além dessa classificação e reconhecendo a importância da transição entre os níveis de representação da matéria para entendimento da Química, as imagens também foram avaliadas em: macroscópica, microscópica e simbólica.

Tabela 3 - Livros analisados, suas informações e códigos de identificação.

<b>Código</b>	<b>Livro</b>	<b>Autor</b>	<b>Editora</b>	<b>Ano</b>
A	Química 1	Andréa H. Machado Eduardo F. Mortimer	Scipione	2010
B	Química na abordagem do cotidiano: Química geral e inorgânica	Eduardo L. Canto Francisco M. Peruzzo	Moderna	2006
C	Química cidadã: materiais, substâncias, constituintes, química ambiental e suas implicações sociais	Wildson L. P. dos Santos Gerson S. Mól (coords.)	Nova Geração	2010
D	Ser protagonista: Química 1	Julio C. F. Lisboa	SM	2010
E	Química 1: meio ambiente, cidadania, tecnologia	Martha R. M. Fonseca	FTD	2010

### 3.4 Resultados e discussões da análise

Neste trabalho foram analisadas 163 representações visuais relacionadas com os modelos atômicos presentes nos cinco livros de Química aprovados pelo PNLD 2012. Em relação às categorias avaliadas, os resultados dessa pesquisa apontam diferenças entre as obras, que serão apresentados e discutidos a seguir.

A respeito da sequência didática, podemos observar no Gráfico 1, que as obras apresentam divergências entre as unidades elementares.

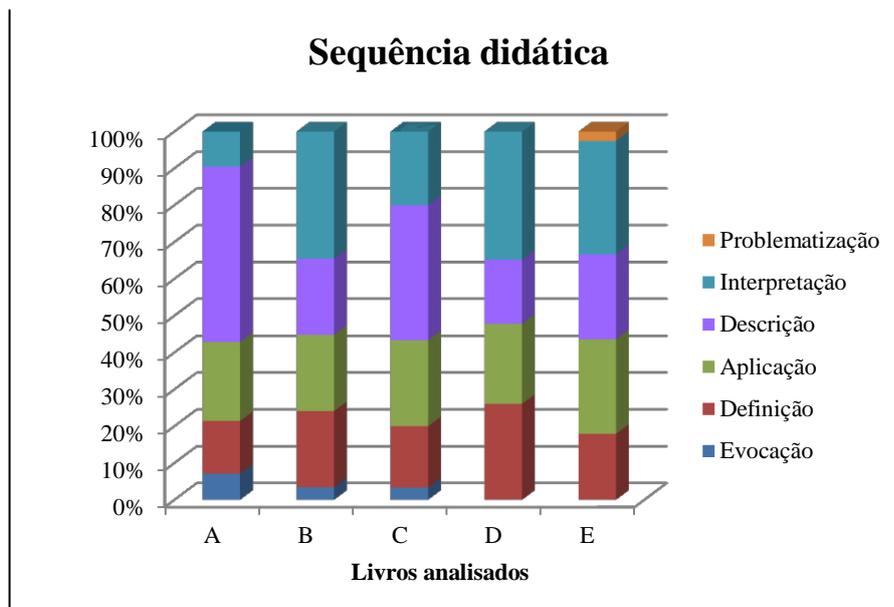


Gráfico 1 - Classificação dos recursos visuais quanto à sequência didática.

Nos livros A e C é predominante a presença de recursos visuais do tipo descritivo, ou seja, os autores buscam criar contextos para o desenvolvimento dos modelos atômicos. A Figura 22a (livro A) é um exemplo de descrição, na qual o autor a utiliza para introduzir tópicos relacionados ao modelo de Rutherford, em que a imagem apresenta “instrumentos para a detecção e contagem das partículas alfa” (MORTIMER e MACHADO, 2010, p. 149), que até então se supõem desconhecidos pela maioria dos alunos e que a partir desse momento serão alvo de seu estudo. A unidade interpretação corresponde a aproximadamente 40 % dos recursos visuais dos livros B, D e E, enfatiza a explicação de experimentos através da abordagem de conceitos teóricos. Esse dado demonstra que os eventos experimentais tem papel central na construção da Química como Ciência, e que de acordo com Silva et al. (2010), no ensino, permitem a articulação entre fenômenos e teorias. Por exemplo, na Figura 22b os autores do livro B utilizam um experimento simples para ilustrar o fenômeno de atração entre cargas opostas. Outra análise que pode ser feita a partir do Gráfico 1, é a pouca utilização de sequências didáticas problematizadoras, sendo essa observada apenas em um dos cinco livros analisados, o que nos permite concluir que as obras tendem a uma abordagem tradicional de ensino. Apesar de a problematização ser enfatizada por diversos autores (DELIZOICOV et al., 2009) e pelos documentos oficiais (BRASIL, 2002), sua inserção no ensino de Ciências ainda é uma dificuldade a ser superada, tanto pelos autores dos LD quanto pelos professores do ensino médio. Esse recurso só foi encontrado no livro E (22c) em que a

autora lança questionamentos, como “De onde vêm as luzes coloridas que os fogos de artifício emitem quando queimam?” (FONSECA, 2010, p. 210), que não podem ser respondidos com os conceitos até então desenvolvidos. Dessa forma, os alunos através da observação dessa figura são instigados a pensar sobre esse fenômeno, sendo que nas próximas seções a autora desenvolve os tópicos relacionados ao modelo atômico de Bohr, que fundamentam esse acontecimento.

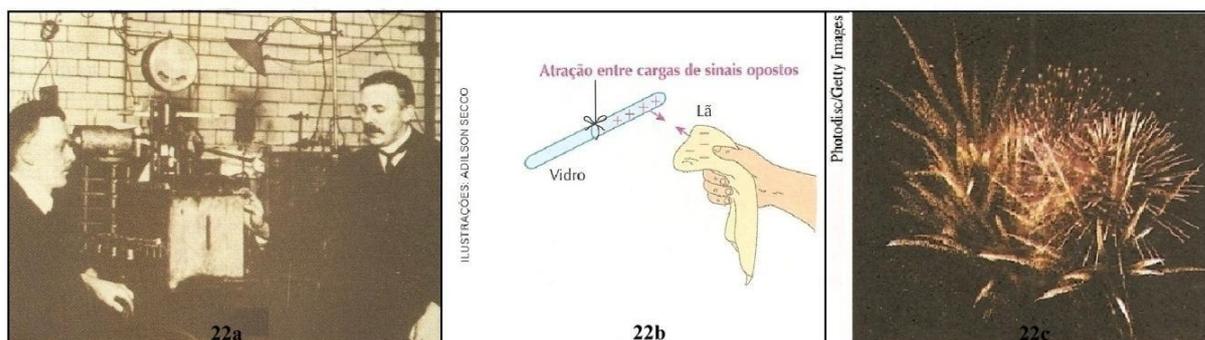


Figura 22 - Exemplos dos recursos visuais quanto à sequência didática: descrição (22a), interpretação (22b) e problematização (22c).

Analisando o Gráfico 2, referente a categoria iconicidade, percebemos a frequente utilização de fotografias pelos LD avaliados. Isso é uma tentativa dos autores de tornar a leitura mais atraente, entretanto como revela a pesquisa de Levie e Lenz (1982), a utilização de imagens necessita de uma justificativa empírica para ser significativa no ensino de Ciências, não simplesmente para ilustração. Desta forma, percebemos que na maioria das vezes os livros se utilizam de recursos visuais para mera observação ou exemplificação da realidade.

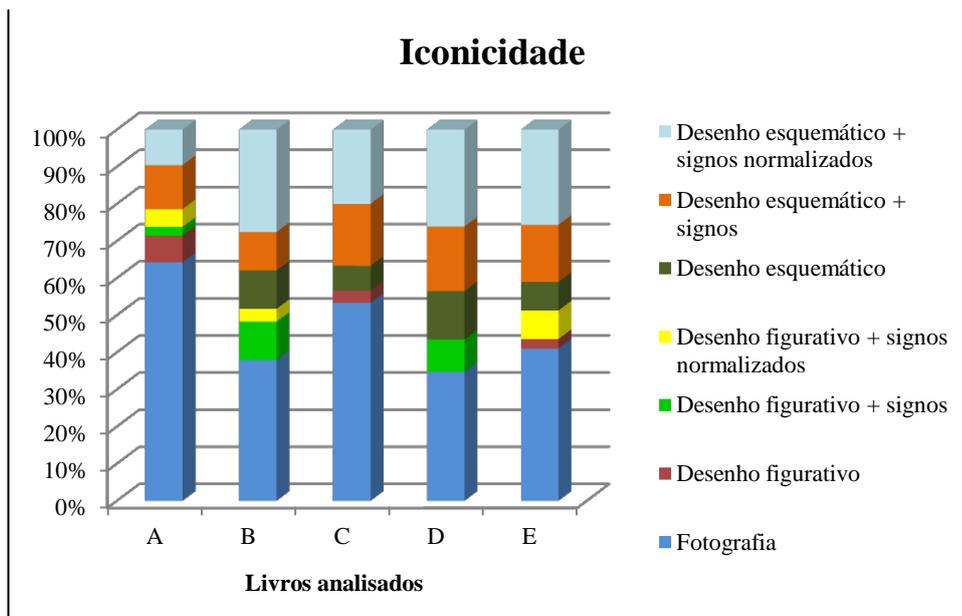


Gráfico 2 - Classificação dos recursos visuais quanto à iconicidade.

Também detectamos no Gráfico 2, que os livros B, C, D e E apresentam frequentemente desenhos esquemáticos com signos normalizados. Esse tipo de representação exige a interpretação de vários códigos simbólicos, que podem ser um importante recurso no ensino dos modelos atômicos, pois, por ser abstrato, exige capacidade de transitar entre os níveis macroscópico e microscópico. Exemplos dessa constatação podem ser observados na Figura 23, na qual a representação da experiência do modelo atômico de Rutherford, pelos livros C (23a) e E (23b), faz uso de códigos e símbolos específicos da Química. Ao analisar essas figuras os estudantes devem ser capazes de interpretar, por exemplo, que as partículas alfa ( $\alpha$ ) são positivas, pois quando se aproximavam do núcleo dos átomos de ouro, utilizados por Rutherford na experiência, eram desviadas pela repulsão elétrica. Os desenhos esquemáticos com signos normalizados são empregados para a ilustração de outros modelos, como o de Bohr (23c) e o de Thomson (23d), nos quais códigos, símbolos e sentidos de setas devem ser interpretados para a compreensão do fenômeno ilustrado.

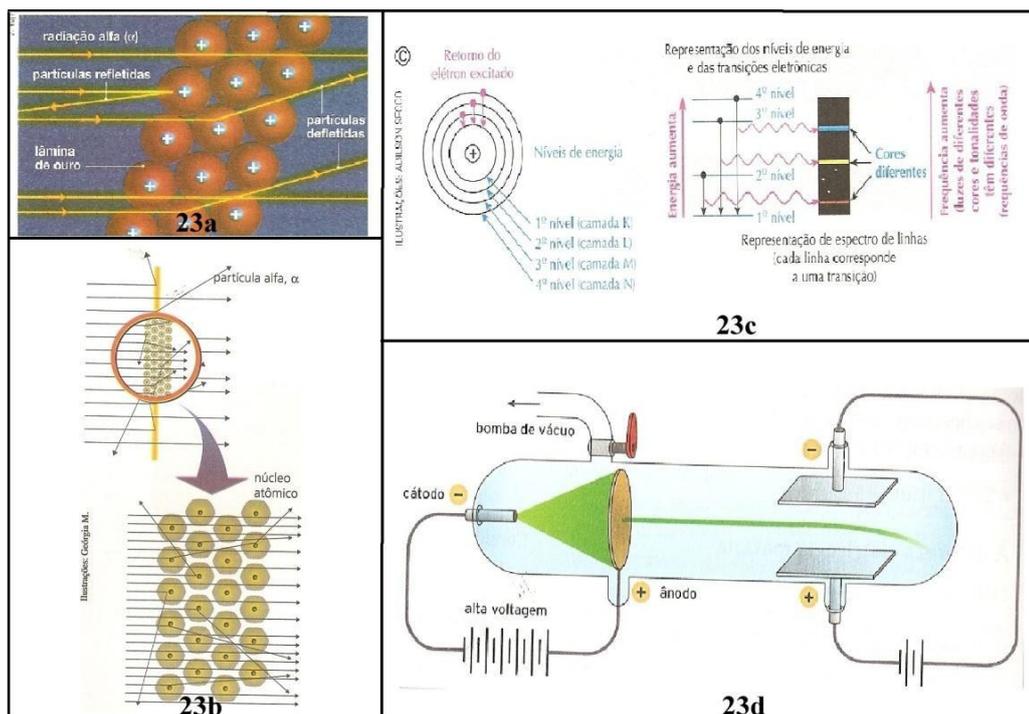


Figura 23 - Exemplos dos recursos visuais quanto ao grau de iconicidade: desenhos esquemáticos com signos normalizados.

Em relação à funcionalidade, nos livros A e C, é perceptível a predominância de representações visuais do tipo inoperante (Gráfico 3), esse dado indica que poucas ilustrações desses livros auxiliam na compreensão dos conteúdos científicos, pois a maioria é utilizada apenas para ilustrar fatos ou conceitos.

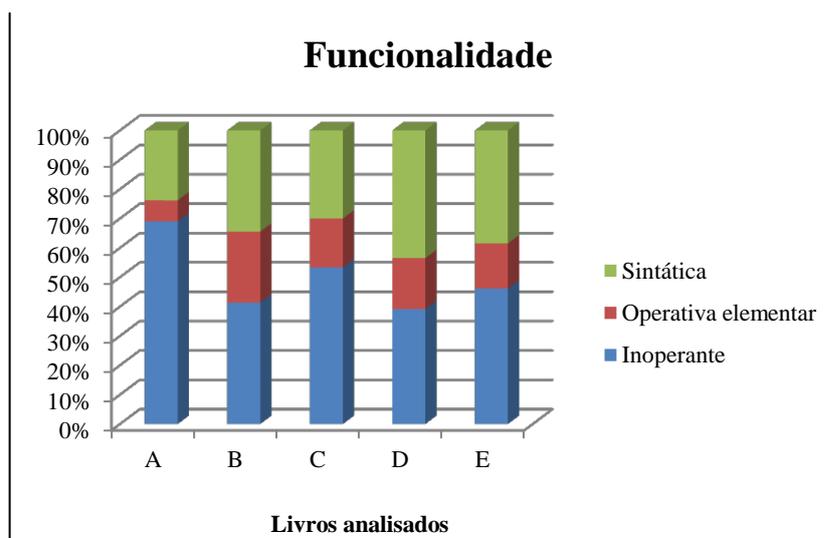


Gráfico 3 - Classificação dos recursos visuais quanto à funcionalidade.

Através dos resultados obtidos, podemos observar que os livros B, D e E contemplam de maneira significativa a unidade elementar sintática, que é a mais complexa dentre as demais unidades analisadas, pois exige o conhecimento de normas específicas pré-estabelecidas pela Química. As representações visuais que se enquadram nesta unidade, Figura 24a (livro D), possuem uma função didática para o ensino de modelos atômicos, pois utilizam signos e representações que podem auxiliar na compreensão dos conceitos relacionados com a estrutura da matéria. Exemplos das unidades operativa elementar e inoperante estão nas Figuras 24b (livro B) e 24c (livro A), respectivamente. A primeira apresenta elementos de representação universal, esferas de tamanhos distintos, para representar átomos de diferentes dimensões, e a segunda possui função ilustrativa, utilizada apenas para introduzir o estudo da constituição da matéria.

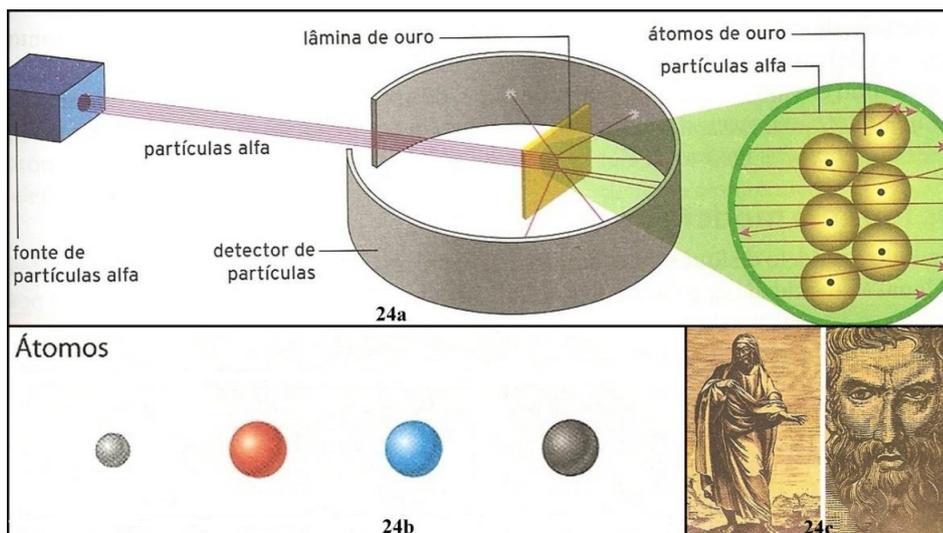


Figura 24 - Exemplos dos recursos visuais quanto à funcionalidade: sintática (24a), operativa elementar (24b) e inoperante (24c).

As ilustrações presentes nos cinco LD quando analisadas na categoria relação com o texto principal apresentaram o seguinte resultado (Gráfico 4).

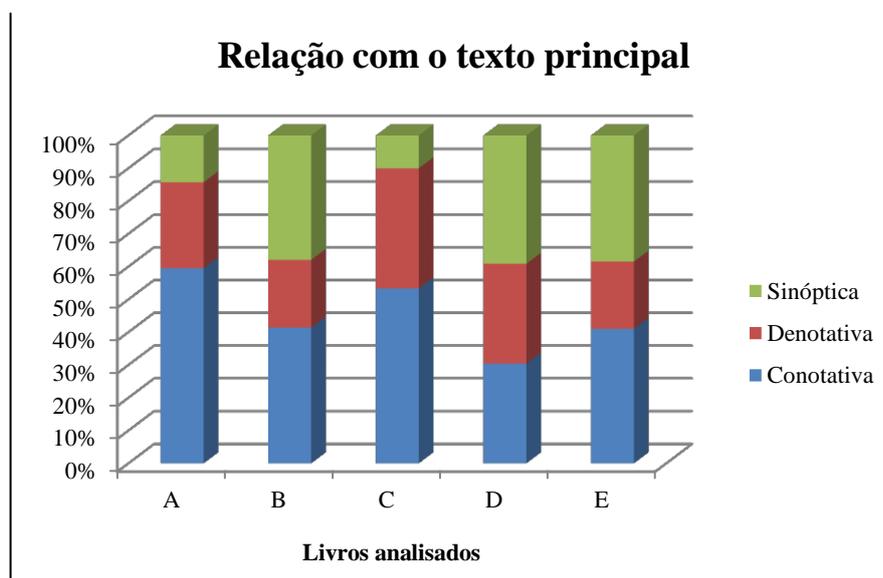


Gráfico 4 - Classificação dos recursos visuais quanto à relação com o texto principal.

Observando o Gráfico 4, podemos perceber que as imagens do tipo conotativa são a maioria nos livros didáticos A e C, e estão presentes em quantidades significativas nas demais

obras. Essa observação permitiu-nos concluir que grande parte dos recursos visuais está desconectado do texto principal. Um exemplo disso é a Figura 25a (livro A), na qual está representado o átomo de hélio sem referência no texto. O livro C é o que possui mais ilustrações denotativas em relação aos demais, essas imagens estabelecem correspondência entre os seus elementos e os conteúdos que abordam. A Figura 25b (livro C) está relacionada com o seguinte trecho do texto principal (SANTOS e MÓL, 2010):

Para Bohr, cada estado estacionário de energia seria associado a um nível de energia que é representado pela letra **n** e varia de 1 a 7 [...], cada um desses níveis é descrito por uma órbita ao redor do núcleo. As órbitas mais próximas do núcleo corresponderiam a níveis menores de energia (SANTOS e MÓL, 2010, p. 195).

Podemos perceber que no trecho acima, os autores utilizam números (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) para fazer referência aos níveis eletrônicos do átomo, porém a Figura 25b apresenta letras (K, L, M, N, O, P, Q) para designar esses mesmos níveis de energia. Estas diferentes denominações podem ser consideradas obstáculos epistemológicos, que de acordo com Bachelard (1967) são entraves que bloqueiam o desenvolvimento e a construção do conhecimento, resultando em confusões conceituais por parte dos estudantes. Algumas alternativas para evitar esse possível obstáculo no aprendizado é a utilização uniforme dos códigos ou a explicação durante o texto da existência de distintas representações. Desta forma é importante que os autores dos materiais didáticos tenham cuidado com a simbologia utilizada nas imagens, para que essas possuam uma relação com as representações discutidas durante o texto principal. Os livros B, D e E apresentam cerca de 40% das ilustrações referentes à unidade elementar sinóptica, as imagens desse tipo necessariamente devem estar acompanhadas do texto para o seu entendimento, formando uma unidade indivisível. Para a interpretação da Figura 25c do livro E, as etapas 1, 2 e 3 representadas nessa figura são descritas pela autora no texto principal, sendo necessária a combinação “texto + figura” para a compreensão do fenômeno representado.

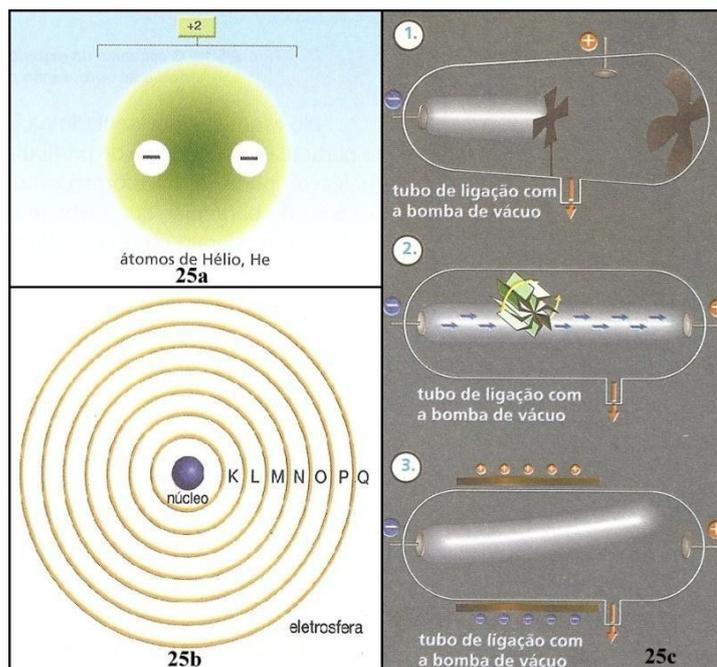


Figura 25 - Exemplos dos recursos visuais quanto à relação com o texto principal: conotativa (25a), denotativa (25b) e sinóptica (25c).

Sobre a categoria etiquetas verbais, os LD apresentaram consideráveis diferenças. O livro A possui mais de 70% de imagens sem etiqueta e apenas aproximadamente 10% relacionáveis. Em contrapartida, o livro B contempla as três unidades elementares de maneira mais uniforme, sendo aproximadamente 35% das representações sem etiqueta, 30% nominativa e 35% relacionável. Já no livro D a unidade elementar que predomina é a nominativa. O Gráfico 5 apresenta a quantidade de imagens por unidade elementar.

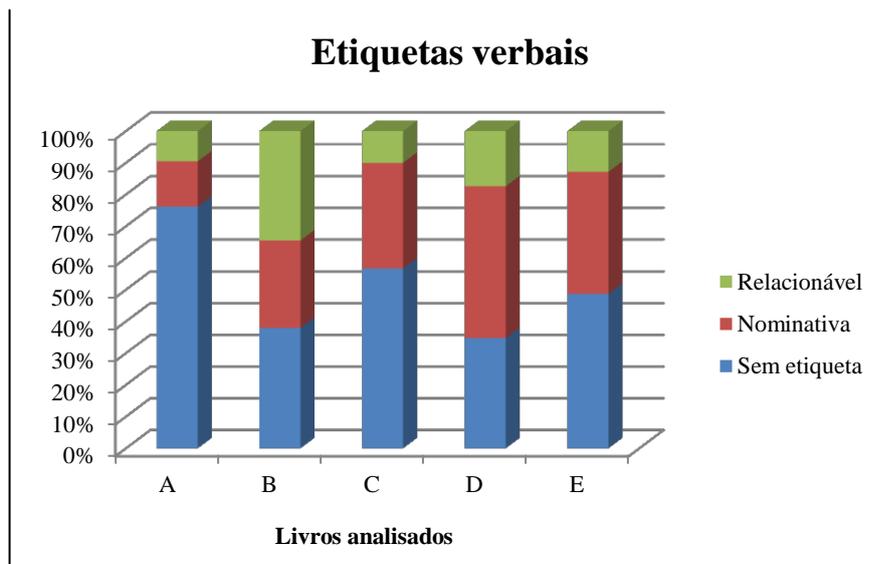


Gráfico 5 - Classificação dos recursos visuais quanto à etiqueta verbal.

Na Figura 26b, está representada uma imagem do livro A, na qual não há referência sobre a cor que cada elemento químico apresenta quando submetido ao teste de chama, sendo assim classificada como sem etiqueta. A Figura 26a (livro D) é considerada como nominativa, pois utiliza letras ou palavras que identificam os elementos da ilustração. Um exemplo de imagem relacionável é a Figura 26c (livro B), em que os autores abordam a absorção e a emissão de energia por meio de textos que relacionam os elementos da ilustração.

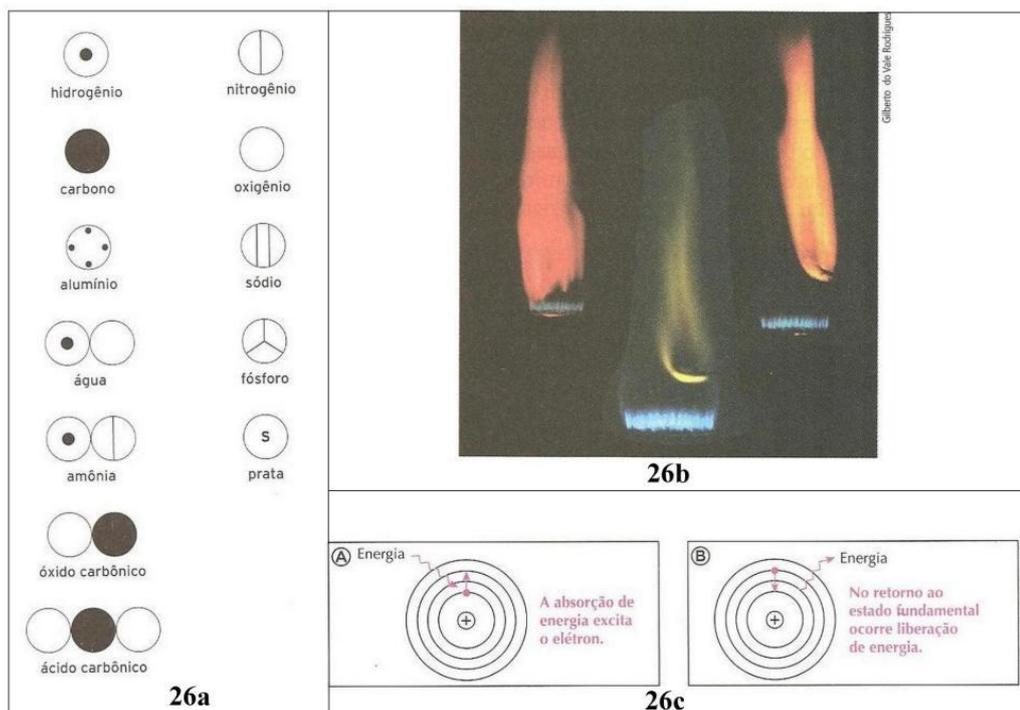


Figura 26 - Exemplos dos recursos visuais quanto à etiqueta verbal: nominativa (26a), sem etiqueta (26b) e relacionável (26c).

Com o objetivo de conhecer o modelo atômico mais utilizado nas representações dos LD, analisamos as imagens em relação ao conteúdo científico que as sustentam. Os resultados estão no Gráfico 6.

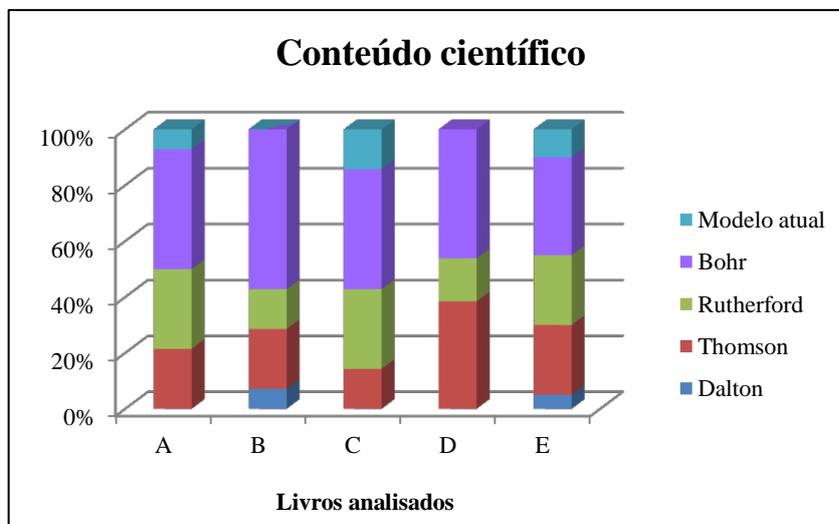


Gráfico 6 - Classificação dos recursos visuais quanto ao conteúdo científico.

Nos cinco LD analisados, é perceptível a predominância de recursos visuais utilizados para a abordagem dos conceitos relacionados ao modelo atômico de Bohr, por exemplo, no livro B, mais da metade (57,14%) das imagens correspondem a esse modelo. Acreditamos que este dado se deve principalmente pela complexidade conceitual deste modelo, além de ser o mais aplicado no cotidiano. Outro dado relevante é a pouca utilização de imagens relacionadas aos modelos de Dalton e atual. Isso demonstra a pouca ênfase dada pelos LD à construção do conhecimento científico ao longo da história da Ciência, já que pouco contemplam os primeiros estudos sobre o átomo bem como os mais atuais. A exemplo disso, o livro didático D não apresenta nenhuma ilustração relacionada com esses modelos.

Considerando a importância de desenvolver nos estudantes a capacidade de transitar entre os três níveis de representação da matéria para o entendimento de diversos conceitos de Química, os recursos visuais dos cinco LD aprovados pelo PNLD 2012 foram categorizados em: macroscópico, microscópico e simbólico. Os resultados dessa análise são apresentados no Gráfico 7.

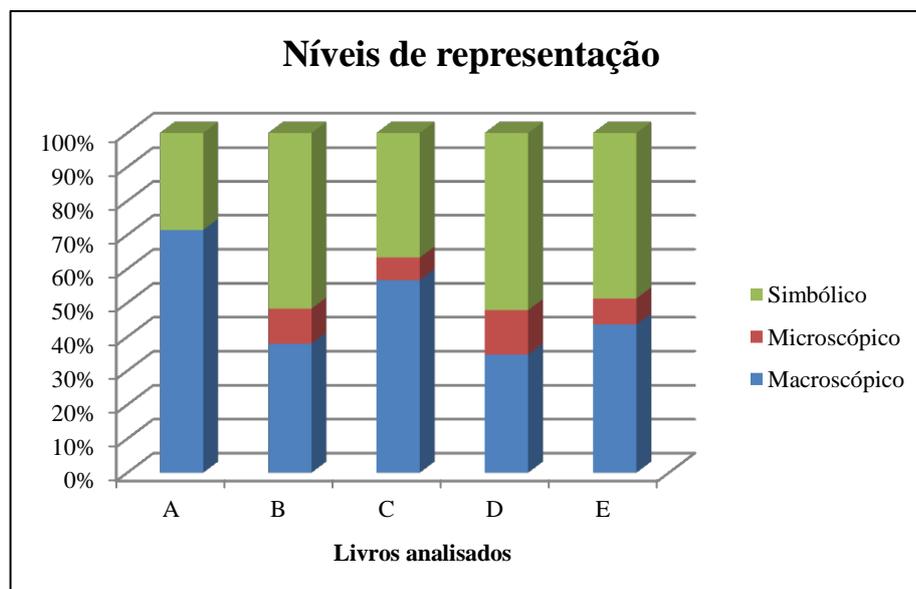


Gráfico 7 - Classificação dos recursos visuais quanto aos níveis de representação.

As representações que contemplam apenas o nível macroscópico, ou seja, que consideram somente os aspectos observáveis e realistas estão presentes em quantidades significativas em todos os LD, variando aproximadamente de 70% (livro A) a 30% (livro D). Esse tipo de imagem pouco auxilia os estudantes na transição entre os níveis de representação da matéria, pois não abrange o microscópico e o simbólico. Porém, esses recursos visuais

desempenham outras funções didáticas para o entendimento da estrutura da matéria, como: contexto histórico e social, contextualização, exemplificação, entre outros. Um exemplo de representação macroscópica está na Figura 27a, retirada do livro A que a utiliza para situar no contexto histórico e social as pesquisas desenvolvidas pelo casal Curie, que contribuíram de forma significativa para o estudo da radioatividade. As imagens classificadas no nível microscópico foram encontradas em menor quantidade nos LD, sendo que o livro A não apresenta esse tipo de representação. Esse nível é importante no estudo da Química, pois representa aspectos inobserváveis, como por exemplo, a Figura 27b, do livro E, que representa o modelo atômico atual proposto por Sommerfeld. Por fim, o nível simbólico além de representar o microscópico apresenta símbolos e códigos específicos da Química, e foi encontrado em todos LD, constituindo mais de 50% das ilustrações dos livros B e D. Esse tipo de representação é fundamental para o estudo dos modelos atômicos, pois se corretamente interpretado auxilia os estudantes na compreensão dos conceitos abstratos envolvidos, já que perpassa os três níveis de representação da matéria. Na Figura 27c (livro B), está representada uma imagem que foi classificada neste nível.

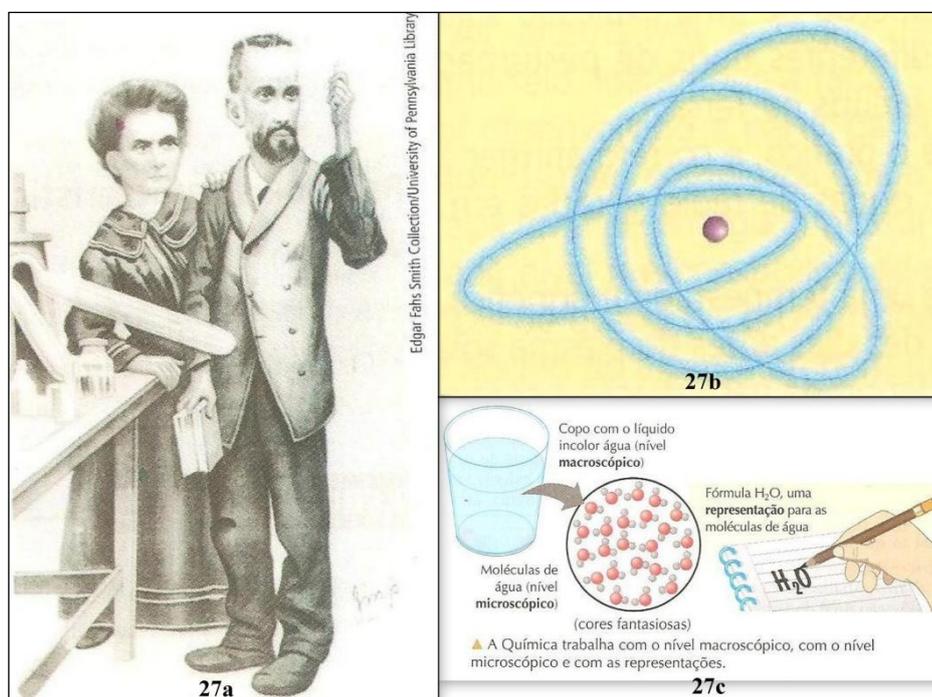


Figura 27 - Exemplos dos recursos visuais quanto aos níveis de representação: macroscópico (27a), microscópico (27b) e simbólico (27c).

Ainda em relação às imagens da Figura 27, podemos observar que essas três representações possuem funções distintas para a aprendizagem dos conceitos relacionados aos modelos atômicos. Desta forma, consideramos importante a abordagem desses três níveis de representação nos LD, sendo que cada nível depende do outro e todos de forma integrada contribuem para a construção de conceitos abstratos.

### 3.5 Algumas considerações

A imagem como uma forma de representar o conhecimento químico, torna-se um importante recurso na construção de modelos conceituais adequados para a aprendizagem (GIBIN et al., 2009). A categorização utilizada nesse estudo, baseada na proposta de Perales e Jiménez (2002) e elaborada pelos autores em relação aos níveis de representação, nos possibilitou analisar o objetivo didático das representações visuais na abordagem do conteúdo de modelos atômicos nos LD aprovados pelo PNLD 2012.

Os dados obtidos a partir da análise dessas categorias indicam que há uma diversidade na forma como as imagens são apresentadas em cada livro, o que sugere que os professores se baseiem em diferentes recursos na elaboração de suas aulas. Sendo assim, faremos algumas considerações que emergiram dos resultados obtidos nesta análise:

- Nos capítulos referentes ao conteúdo de modelos atômicos os livros A, B, C, D e E apresentam respectivamente, 42, 29, 30, 23 e 39 recursos visuais, totalizando 163 imagens analisadas;

- Algumas particularidades foram encontradas nos LD: o livro A é o único que identifica todos os recursos visuais através de números (exemplo: Figura 6-19). Essa identificação auxilia os leitores na organização da sua leitura. Outra particularidade se refere ao número de capítulos destinados à abordagem dos modelos atômicos, sendo que os livros B e E trazem esse conteúdo disperso em três e dois capítulos respectivamente, enquanto os demais o apresentam de maneira condensada em um único capítulo;

- Em relação às unidades elementares da sequência didática, apenas o livro E, mesmo que em pouca quantidade, apresenta imagens em uma perspectiva problematizadora. Nos demais livros há predominância de recursos visuais utilizados para a discussão de conceitos (descrição) e explicação de fatos experimentais (interpretação);

- Há elevado número de imagens do tipo fotografia nos LD analisados, sendo, 64,28% no livro A; 53,33% no livro C e 41,02% no livro E. Apesar de serem utilizadas para a observação e exemplificação de conceitos, representações desse tipo pouco contribuem para a aprendizagem dos conceitos abstratos, pois remetem apenas aos aspectos macroscópicos. É necessário enfatizar que não condenamos a utilização de fotografias, entretanto seu emprego poderia ser moderado em alguns LD, para que as imagens tenham uma função didática além da mera observação;

- Considerando que os textos escritos complementam as imagens e vice versa, detectamos que um grande número de ilustrações está desconectado do texto principal (59,52% livro A e 53,33% livro C), o que pode dificultar a linearidade da leitura, desta forma não contribuindo para a aprendizagem;

- O modelo atômico mais enfatizado pelos LD analisados em suas representações é o de Bohr, que compreende 42,85%; 57,14%; 42,85%; 46,15% e 35% das imagens dos livros A, B, C, D e E, respectivamente;

- Observamos que a grande maioria das imagens dos LD contemplam os níveis macroscópico e simbólico. Nos livros A e C a maioria das imagens é do tipo macroscópica (71,42% e 56,66%), utilizadas para representar aspectos perceptíveis dos conceitos químicos, que são importantes na contextualização e referência histórica e social dos conceitos. Já os livros B e D apresentam mais imagens do tipo simbólica (51,70% e 52,16%), contemplando os três níveis de representação.

É evidente que as representações visuais presentes nos LD analisadas, influenciam na construção do conceito de átomo e na ideia de evolução dos modelos atômicos pelos estudantes do ensino médio. Sendo assim, é necessário haver um maior cuidado com a qualidade dos textos e imagens presentes nesse recurso didático.

Pesquisas com o propósito semelhante ao deste estudo se tornam importante por suscitarem debates e reflexões a respeito dos textos, imagens, tabelas, gravuras, gráficos, diagramas, realces de anotações e exercícios apresentados pelos LD, desta forma contribuindo para a qualidade dos mesmos.

## CAPÍTULO 4 – ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

O estudo realizado nesta dissertação está fundamentado nos resultados obtidos por meio da análise dos discursos, depoimentos e reflexões dos estudantes envolvidos na pesquisa. Conforme Pacca e Vilanni (1990), este tipo de pesquisa é característico de abordagens que apresentam caráter qualitativo. É difícil apontar uma definição correta para a pesquisa qualitativa, mas podemos destacar que a sua principal característica está relacionada à tentativa dos indivíduos em explicar a natureza a partir de suas compreensões. Além disso, segundo a visão de L d e e André (1986), outros aspectos que caracterizam essa pesquisa devem ser considerados, como por exemplo, a importância que o ambiente no qual a pesquisa está sendo desenvolvida desempenha, que dados serão avaliados e a forma como os dados coletados serão analisados.

Optamos pela abordagem qualitativa, neste trabalho, “por esta permitir a ênfase na totalidade do indivíduo como objeto de estudo” (MARRIN, 2002 apud NETHER, 2006, p. 202), isto é, a valorização da subjetividade apresentada por ele durante o processo pesquisado. Outro fator relevante nesta pesquisa é o papel que o pesquisador desempenha como sujeito atuante e não neutro, no qual sua opinião é parte integrante do desenvolvimento e análise de todas as etapas do processo de investigação.

Em relação à avaliação dos dados obtidos a partir de um determinado estudo, a pesquisa qualitativa não tem por objetivo imediato a generalização destes, porém podemos dizer que seu interesse está ligado ao levantamento das possíveis causas do evento observado pelo pesquisador (ROSA, 2011). O exercício de determinar tais variáveis é feito por meio da avaliação dos registros obtidos, considerando principalmente as mudanças de percepção dos indivíduos envolvidos, bem como a subjetividade nas entrelinhas de seus relatos.

Levando em consideração todos esses aspectos, nossa pesquisa teve como principal foco conhecer as ideias prévias dos estudantes acerca do conteúdo de estrutura atômica, e a partir delas desenvolver diferentes intervenções como estratégias facilitadoras no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos que envolvem esse assunto. A obtenção dos dados da pesquisa ocorreu por meio de questionários, textos elaborados pelos alunos, atividades de modelagem, apontamentos e observações da pesquisadora. A discussão em relação à análise dos dados será realizada no capítulo 5 deste trabalho.

#### 4.1 Contexto da pesquisa

A pesquisa realizada neste trabalho foi desenvolvida em uma turma da primeira série do ensino médio de uma escola, da rede estadual de ensino, da cidade de Júlio de Castilhos, RS – Brasil. A escola foi fundada no ano de 1972, e era a única instituição de ensino médio na cidade até o ano de 2006, por isso é uma escola muito tradicional. Atualmente o corpo docente é constituído por quarenta professores e dois estagiários, além disso, a escola também conta com catorze funcionários. O número total de alunos é de mil e trinta, os quais estão distribuídos em trinta e uma turmas de ensino médio e 2 turmas de Educação de Jovens e Adultos (EJA), respectivamente, as turmas de ensino médio estão divididas nos turnos diurno e noturno, já as turmas de EJA no turno noturno. A estrutura física da instituição é ampla para atender as necessidades tanto de professores e de estudantes, conta com biblioteca, sala audiovisual, quadra poliesportiva e laboratórios de Informática, Biologia, Química e Física (RIO GRANDE DO SUL, 2012). O laboratório de Ciências da escola ainda conta com uma professora responsável pelo preparo e execução das aulas práticas.

A professora responsável pelas turmas da primeira série do ensino médio possui formação em Química Licenciatura Plena pela UFSM e atua como contratada nessa escola. Suas aulas são ministradas de maneira expositiva, utilizando o livro didático dos autores Tito e Canto, aprovados pelo PNLD 2012 – 2015. Em conversa com a professora, fui informada que não era habitual o desenvolvimento de aulas práticas no laboratório da escola, uma vez que sua principal meta era terminar o conteúdo programático da disciplina.

Os estudantes participantes desta pesquisa pertencem a uma turma da primeira série do ensino médio. A escolha pela primeira série está relacionada ao fato de o conteúdo de estrutura atômica fazer parte do currículo desta etapa. A turma escolhida foi sugerida pela professora, por apresentar boa organização e comprometimento em atividades já trabalhadas em sala de aula. A turma era constituída por vinte e quatro estudantes do sexo feminino e treze do sexo masculino, totalizando trinta e sete alunos (Gráfico 8).

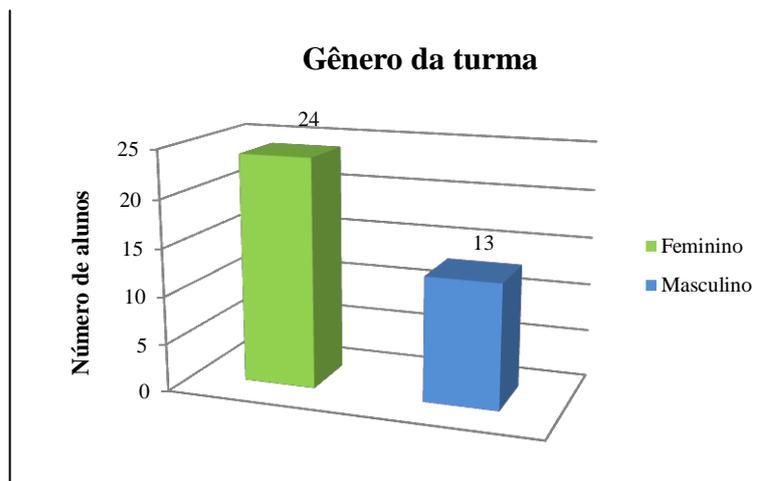


Gráfico 8 - Gênero da turma.

Em relação à faixa etária, a turma apresenta alunos com diferentes idades, apesar da maioria, vinte e dois estudantes, apresentar quinze anos, conforme o Gráfico 9:

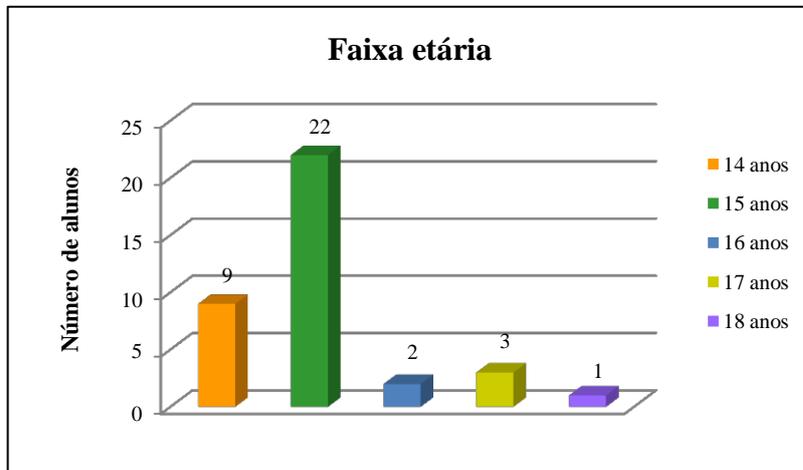


Gráfico 9 - Faixa etária dos estudantes.

#### 4.2 Instrumentos utilizados para a coleta de dados

Os dados das intervenções desenvolvidas com os estudantes foram obtidos por meio da utilização de diferentes instrumentos, tais como questionários e elaboração de textos, bem

como os registros escritos e fotográficos feitos pela pesquisadora, enfim toda a manifestação e discussão por parte dos alunos em sala de aula. Estes instrumentos foram escolhidos por acreditarmos que eles possibilitem a avaliação de diferentes elementos que sejam essenciais para a formação cidadã dos estudantes, tais como habilidades e competências, além de considerarem as concepções dos alunos referentes ao tema em estudo.

Em relação à produção de textos no ensino de Ciências, os PCNEM apontam que este tipo de ferramenta contribui para a construção de diversas competências nos estudantes, principalmente em relação ao domínio da linguagem científica, ou seja, da nomenclatura, códigos, símbolos, gráficos entre outros (BRASIL, 2002). Esse domínio é necessário para a elaboração de comunicações, seja na forma escrita ou oral, na tentativa de relatar, sistematizar e analisar questões ligadas aos conceitos aprendidos em aula. Sendo assim, compreender o funcionamento e o processo de escrita em sala de aula contribui para que o pesquisador perceba os avanços dos estudantes em relação à compreensão do tema em estudo e a relação deste com seu cotidiano. Segundo Orlandi (1998 apud SOUZA e ALMEIDA 2005, p. 368), o sujeito, de alguma forma, está inserido no texto que produz por isso a importância do pesquisador na interpretação subjetiva e objetiva dos textos.

Outro instrumento utilizado para a obtenção dos dados foi o questionário. Este tipo de instrumento possibilita que o pesquisador realize um levantamento de diferentes informações dos sujeitos pesquisados, na tentativa de conhecer mais sobre eles bem como sobre o assunto em estudo (SEVERINO, 2007). No entanto, alguns pontos devem ser considerados para a elaboração do questionário, conforme Rosa (2011) um bom questionário é aquele que apresenta questões claras e objetivas, sem perder o foco e a importância da pesquisa. Calais (2007) também sinaliza para os cuidados que os pesquisadores devem ter com o tamanho deste instrumento. Questionários longos muitas vezes resultam na desistência do público alvo de participar, tornando-se um empecilho ao pesquisador, ou até mesmo a obtenção de dados insuficientes e sem relação como os objetivos da pesquisa.

### **4.3 Desenvolvimento das atividades**

Diversos acontecimentos e fenômenos do nosso cotidiano podem ser explicados através da Ciência. Sendo assim, a Química é a Ciência capaz de esclarecer o comportamento e as transformações do mundo e das partículas presentes na matéria. Em relação a esse

assunto, Trindade (2010) cita a importância do conhecimento, por parte dos cidadãos, na compreensão da estrutura da matéria a fim de desenvolverem a habilidade de transitar entre o nível macroscópico e microscópico que envolve esse assunto, para possíveis interpretações e resolução de problemas em seu dia a dia.

Partindo dessas proposições, as atividades realizadas durante esse estudo foram selecionadas por possibilitarem a contextualização da teoria proposta pelo modelo atômico de Bohr de diferentes maneiras. Podemos classificar as atividades desenvolvidas neste trabalho em dois tipos: atividade experimental e atividade de modelagem. Tais atividades permitem ao estudante o desenvolvimento de competências e habilidades no âmbito da observação, busca e discussão de resultados, formulação de hipóteses e das relações do microscópico com o macroscópico.

As intervenções realizadas durante o estudo foram desenvolvidas entre os meses de julho e outubro do ano de dois mil e doze, nos períodos destinados a disciplina de Química, totalizando dezenove horas/aula com duração de cinquenta minutos cada (Tabela 4).

Tabela 4 - Descrição das atividades desenvolvidas.

<b>Intervenção</b>	<b>Atividades desenvolvidas</b>	<b>Duração (hora/aula)</b>
1	Sondagem diagnóstica	1
2	Evolução dos modelos atômicos	3
3	A Química e as cores	5
4	Desvendando as <i>lightsticks</i>	3
5	Ligando a luz: excitando os elétrons	2
6	Vamos construir?	4
7	Encerramento das atividades	1

A seguir, descreveremos detalhadamente cada uma das intervenções desenvolvidas durante a realização deste trabalho.

#### 4.3.1 Intervenção 1: Sondagem diagnóstica

Para dar início às intervenções, aplicamos um questionário (Apêndice 1) com o objetivo de conhecer os sujeitos participantes, bem como realizar um levantamento sobre suas concepções em relação ao assunto apresentado. Além disso, apresentamos a proposta de trabalho a ser desenvolvida com a turma. Esse primeiro contato com os estudantes incluiu também a exibição do vídeo comemorativo do Ano Internacional da Química. A intervenção teve duração de uma hora/aula.

As próximas atividades realizadas foram desenvolvidas com base nas respostas dos estudantes nesse questionário e nas observações e anotações feitas pela pesquisadora.

#### 4.3.2 Intervenção 2: Evolução dos modelos atômicos

A atividade desenvolvida nessa intervenção teve por objetivo abordar a evolução da estrutura atômica, ressaltando o ponto de vista químico, físico e histórico no qual os modelos foram construídos pelos cientistas. Esta aula foi organizada com base nos momentos pedagógicos descritos por Delizoicov e Angotti (1990).

##### *1º Momento Pedagógico – Problematização inicial*

Nesta etapa da intervenção, alguns questionamentos foram lançados à turma, com o objetivo de relacionar o tema às situações de seu cotidiano, despertando interesse e dúvidas sobre o assunto a ser explorado, tais como:

- O que é um átomo?
- Existe mais de um modelo de átomo? Qual o mais correto?
- Você acredita que alguns fatos de seu cotidiano podem ser explicados através dos modelos atômicos?

Além disso, foi solicitado aos alunos que respondessem ou representassem, individualmente, através de desenhos, esquemas, símbolos ou simplesmente palavras o seguinte questionamento:

- Como você imagina o átomo?

A realização dos questionamentos iniciais teve por finalidade a avaliação das concepções prévias apresentadas pelos estudantes. Essas concepções são importantes, pois demonstram que as informações pré-existentes não são suficientes para esclarecer todas as dúvidas levantadas. Dessa forma, o estudante entra em conflito com seu próprio conhecimento, percebendo a necessidade e a importância em adquirir novas informações sobre o assunto.

### *2º Momento Pedagógico – Organização do conhecimento*

Os conceitos necessários para o entendimento da estrutura da matéria, bem como os questionamentos realizados na problematização inicial foram abordados neste momento, através da utilização de projetor multimídia. Tais conceitos foram apresentados aos estudantes por meio de um enfoque físico, químico e histórico, foram:

- Matéria e modelos;
- O átomo e os gregos;
- Dalton e a bola de bilhar;
- O “pudim de passas” de Thomson;
- A experiência de Rutherford;
- O salto quântico de Bohr;
- Implicações do modelo de Bohr;
- Modelos atuais.

Além disso, na tentativa de facilitar o acompanhamento e a compreensão do assunto, foi distribuído aos estudantes um guia (Apêndice 2). Este material deveria ser preenchido à medida que a pesquisadora, com a participação dos alunos, avançasse no desenvolvimento dos tópicos acima citados.

### *3º Momento Pedagógico – Aplicação do conhecimento*

Conforme Muenchen e Delizoicov (2011) é no terceiro momento que ocorre a abordagem sistemática do conhecimento que estava sendo incorporado pelo aluno nas outras etapas, para a análise e interpretação das situações iniciais apresentadas até o momento bem como a compreensão de outras situações, incluindo as de seu cotidiano, que envolvem o mesmo conhecimento.

Neste momento, os alunos receberam uma tarefa da pesquisadora, que consistia na resolução de alguns problemas presentes em um roteiro distribuídos a eles (Apêndice 3). Esse roteiro trazia situações do cotidiano dos estudantes que deveriam ser relacionadas com os modelos atômicos vistos durante a segunda etapa da atividade. Para auxiliar na pesquisa, os alunos puderam utilizar além do guia preenchido no segundo momento, livros didáticos disponibilizados pela pesquisadora.

A realização desta atividade teve como principal objetivo centrar o aluno na construção de seu próprio conhecimento, estimulando-o a explicitar seu pensamento e confrontá-lo com a forma de pensar da Ciência (MACHADO e MORTIMER, 2007).

Essa intervenção teve duração total de três horas/aula, sendo o primeiro e segundo momentos desenvolvidos durante a primeira metade, e o terceiro momento na segunda metade da aula.

#### 4.3.3 Intervenção 3: A Química e as cores

Partindo do pressuposto de que a visualização de algumas cores presentes na natureza está relacionada com os saltos quânticos, esta intervenção foi planejada e desenvolvida visando à promoção da contextualização do modelo de átomo descrito por Bohr e suas implicações no cotidiano dos estudantes através das cores. Todas as atividades realizadas durante esta intervenção, bem como os conceitos químicos relacionados com o modelo de Bohr, foram abordados na oficina temática intitulada “A Química das cores”.

Desenvolver os conceitos químicos a partir de um tema possibilita que o pesquisador, utilize fatos do cotidiano com o intuito de organizar e promover a aprendizagem dos alunos. De acordo com a definição proposta por Marcondes (2008), a oficina temática é uma metodologia de ensino empregada na tentativa de estabelecer uma conexão entre os conceitos químicos e as diferentes situações problemas vivenciada pelos estudantes.

##### *1º Momento Pedagógico – Problematização inicial*

É neste momento da oficina, através de algumas questões problematizadoras relacionadas com o assunto em estudo, que os estudantes precisam sentir a necessidade de adquirir mais informações científicas na tentativa de resolver os problemas apresentados pelo

pesquisador. Segundo alguns estudos (MORTIMER, 1992; MACHADO e MORTIMER, 2007; SELBACH, 2010) esse mecanismo de enriquecimento ou substituição do conhecimento inicial dos alunos é chamado de mudança conceitual, o que ocorre a partir do segundo momento pedagógico.

A partir do tema “A Química das cores”, realizamos alguns questionamentos (Apêndice 4) aos estudantes, direcionando nosso foco de estudo para a relação existente entre as diferentes cores dos fogos de artifício e a teoria atômica de Bohr. Os questionamentos foram?

- Qual a composição dos fogos de artifício?
- O que produz as cores nos fogos de artifício?
- Existe alguma relação entre as cores e os modelos de átomos que estudamos?

Além de conhecer as concepções prévias apresentadas pelos estudantes, o objetivo do primeiro momento era também identificar as possíveis relações feitas pelos alunos entre os fogos de artifício e as teorias atômicas estudadas na segunda intervenção.

### *2º Momento Pedagógico – Organização do conhecimento*

Os assuntos abordados em sala de aula a partir do tema proposto foram apresentados por meio de projetor multimídia e organizados nos seguintes tópicos:

- Cores: aspectos históricos e científicos;
- A experiência de Newton;
- Luz e o espectro eletromagnético;
- A percepção da cor;
- Energia e cor: os fogos de artifício e o salto do elétron.

Esses aspectos foram abordados com o intuito de auxiliar os estudantes na compreensão da relação entre as cores e a Química, e possibilitar a interpretação de fatos que seriam observados durante a realização da atividade experimental desenvolvida na próxima etapa.

### *3º Momento Pedagógico – Aplicação do conhecimento*

Após o desenvolvimento dos conceitos na etapa anterior, pela pesquisadora, os estudantes foram convidados a participar de uma atividade experimental demonstrativa, no laboratório da escola. Diversos estudos (GIORDAN, 1999; CARRASCOSA et al., 2006)

defendem o emprego de atividades experimentais no ensino como ferramenta facilitadora no processo de ensino e aprendizagem. Segundo Silva, et al. (2010, p. 235), ela pode ser compreendida “como uma atividade que permite a articulação entre fenômenos e teorias”. Sendo assim, no terceiro momento da intervenção, propomos a realização da atividade experimental, denominada de “algodão luminoso” (THOMAS e BROWN, 1992) com o objetivo de demonstrar através da emissão de luz em diferentes comprimentos de onda o salto eletrônico descrito pelo modelo atômico de Bohr, por meio da simulação do princípio utilizado nos fogos de artifício (Figura 28).



Figura 28 - Atividade experimental "algodão luminoso".

Durante o desenvolvimento da atividade foi solicitado aos estudantes que realizassem anotações sobre todos os pontos que julgassem importantes, além de suas observações e dúvidas. Para facilitar esse trabalho, foi entregue aos estudantes um roteiro, que continha além das informações das etapas da atividade experimental, um quadro que deveria ser preenchido pelos estudantes com informações e observações durante a realização da atividade (Apêndice 4). Ao final, a pesquisadora sugeriu aos alunos que a partir dessas anotações pesquisassem em casa sobre a atividade experimental, na tentativa de encontrar respostas que justificassem suas observações e respondessem seus questionamentos. Os resultados obtidos nessa pesquisa realizada pelos estudantes foram apresentados pela turma e discutidos com a pesquisadora em sala de aula, uma semana após o desenvolvimento da atividade proposta.

O tempo de duração da intervenção correspondeu a cinco horas/aula, sendo as duas primeiras etapas desenvolvidas em duas horas/aula e a terceira em três horas/aula.

#### 4.3.4 Intervenção 4: Desvendando as *lightsticks*

Esta atividade foi desenvolvida com o intuito de relacionar o modelo atômico de Bohr, a partir de uma reação quimiluminescente, com o funcionamento de uma pulseira *lightstick*. A intervenção ocorreu no laboratório da escola, e foi dividida em dois momentos, o primeiro consistiu na atuação dos estudantes como protagonistas da investigação do desafio apresentado, e o segundo no qual a pesquisadora atuou como mediadora desse processo.

Inicialmente, cada aluno recebeu três pulseiras de diferentes cores e outros materiais, como: tesoura, estilete e béquer. O objetivo dessa atividade foi instigar os estudantes a investigar, elaborar hipóteses e suposições sobre o funcionamento das *lightsticks*, para isso, foi necessário que a partir do material disponibilizado pela pesquisadora, os alunos abrissem a pulseira para estudar sua estrutura física e composição. Os alunos também foram orientados a descrever em uma folha todos os passos realizados durante essa análise (Figura 29).

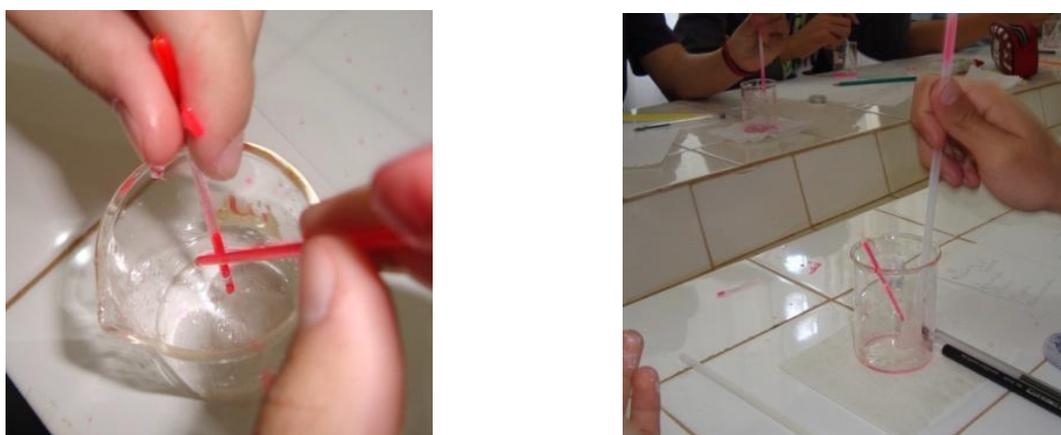


Figura 29 - Atividade experimental realizada pelos estudantes.

No segundo momento da intervenção a pesquisadora realizou uma atividade experimental, que teve por objetivo demonstrar aos estudantes a relação do funcionamento das *lightsticks* com o modelo de Bohr, através da separação cromatográfica de seus componentes polares e apolares. À medida que esses componentes, presentes na pulseira, são eluídos através da coluna, a intensidade de emissão da luz diminui gradativamente. Após o término da coluna, os componentes separados foram misturados a fim de reestabelecer a

emissão de luz. Os alunos receberam um guia (Apêndice 5) para que pudessem acompanhar o trabalho desenvolvido pela pesquisadora durante a atividade experimental.

A avaliação desse momento se deu por meio da análise dos desenhos e esquemas produzidos pelos alunos. O uso de desenhos e esquemas foi sugerido pelos estudantes antes do início da atividade experimental demonstrativa.

Em ambas as atividades o objetivo era fazer com que os estudantes identificassem a relação existente entre as pulseiras *lightsticks* e a teoria de Bohr. Adotamos as duas maneiras de trabalho por acreditarmos que a experimentação, conforme Gómez (2011), em seus diferentes modos, é, sem dúvida, um caminho real para a construção e incorporação de novos significados.

A intervenção compreendeu um total de três horas/aula, a primeira atividade experimental foi realizada pelos estudantes durante uma hora/aula, já a atividade demonstrativa desenvolvida pela pesquisadora teve duração de duas horas/aula.

#### 4.3.5 Intervenção 5: Ligando a luz: excitando os elétrons

Para dar continuidade ao estudo de estrutura atômica, esta intervenção foi desenvolvida com o intuito de relacionar os conceitos referentes ao modelo atômico de Bohr aos processos de emissão de luz do tipo fluorescência e fosforescência. A abordagem desses processos ocorreu por meio de uma atividade experimental, baseada nos experimentos propostos por Nery e Fernandez (2004) e Loreto et al. (2008).

A atividade experimental, de caráter demonstrativo, foi realizada no laboratório de Física da escola por possibilitar as condições necessárias para o desenvolvimento do trabalho, ou seja, a pouca luminosidade proporcionada por cortinas do tipo corta luz (Blackout<sup>®</sup>) presentes nesse laboratório.

Aos estudantes foi distribuído um roteiro (Apêndice 6) que deveria ser preenchido a medida que a atividade fosse sendo desenvolvida. Após uma breve discussão realizada sobre a diferença existente entre os tipos de emissão de luz, os alunos foram convidados a participar da atividade experimental e preencher o roteiro que haviam recebido inicialmente. A atividade consistia na visualização dos fenômenos de fluorescência e fosforescência a partir da análise de diferentes objetos e soluções levados pela pesquisadora com o auxílio de uma lâmpada ultravioleta, no caso da fluorescência. Depois do término da intervenção, os estudantes

deveriam produzir um texto utilizando algumas palavras presentes no Quadro 10, relacionando com a atividade que haviam acabado de participar.

elétron		energia		molécula
	luz		ultravioleta	absorção
salto		átomo		liberação
		cor		Bohr

Quadro 10 - Palavras sugeridas para a elaboração do texto.

O objetivo do texto era avaliar a capacidade dos estudantes em expressar sua opinião sobre a atividade desenvolvida, além de verificar se os mesmos conseguem relacionar as palavras presentes no quadro com os conceitos envolvidos no entendimento do modelo de átomo criado por Bohr. A duração total dessa intervenção correspondeu a duas horas/aulas.

#### 4.3.6 Intervenção 6: Vamos construir?

A última intervenção desenvolvida com os estudantes foi elaborada na tentativa de promover a participação deles como sujeito ativo no processo de construção de modelos. Optamos pelo desenvolvimento dessa atividade de modelagem<sup>12</sup> por ser um processo que permite aos estudantes a visualização de conceitos abstratos através da criação de estruturas macroscópicas, a interpretação de evidências e a necessidade de elaboração e teste de hipóteses (CLEMENT, 1989; FERREIRA, 2006). Além disso, acreditamos que talvez, o ponto mais importante de todo esse processo seja a construção e substituição de modelos a partir da ruptura das antigas teorias.

<sup>12</sup> Como apontam Ferreira e Justi (2008), na língua portuguesa não há uma palavra consensualmente utilizada como sinônimo de processo de elaboração e formulação de modelos, dessa forma justificam o emprego da palavra modelagem para fazer referência a tal processo.

Todos esses aspectos são importantes para que os alunos vejam a Ciência como algo que está em constante modificação e que necessita se basear em modelos para o entendimento e interpretação de diversos fenômenos. Dessa forma, os estudantes foram convidados a se reunir em grupos, se responsabilizando pela construção de dois modelos atômicos que foram sorteados, podendo ser eles os modelos propostos por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Para a construção dos modelos foi disponibilizado aos alunos um guia com algumas informações relativas à evolução atômica e textos científicos levados pela pesquisadora. Nessa etapa do trabalho, a imaginação dos estudantes e as informações contidas nos textos deveriam servir como base para a construção dos modelos, a partir do material disponibilizado para a criação dos mesmos, como por exemplo, caixas, bolas de isopor, canudos de refrigerante entre outros materiais. Simultaneamente ao processo de construção, os alunos deveriam preencher uma ficha, que consta no Apêndice 7, relatando diversos aspectos, tais como: a maneira como o processo de construção dos modelos sorteados havia sido estabelecido pelo grupo, quais materiais foram escolhidos para sua construção, apontar os motivos que levaram os cientistas a construir determinado modelo além da justificativa da rejeição e substituição deste modelo pela comunidade científica da época. Após o término da construção, cada grupo foi convidado a apresentar seus modelos aos colegas, utilizando a ficha que haviam preenchido como um guia.

Esta intervenção teve duração total de quatro horas/aulas, sendo as duas primeiras horas/aulas destinadas à elaboração e montagem dos modelos pelos grupos além do preenchimento da ficha de construção do modelo. Já a explanação dos modelos pelos grupos correspondeu à duração de duas horas/aulas.

#### 4.3.7 Intervenção 7: Encerramento das atividades

A última intervenção desenvolvida com a turma teve por objetivo averiguar qual a opinião dos estudantes em relação a sua participação no decorrer da aplicação desta pesquisa, que teve duração de aproximadamente três meses. Sendo assim, os alunos foram convidados a descreverem em uma folha sobre como foi participar dessas atividades diferenciadas durante esse período e outros aspectos que julgassem importantes para contribuir para essa pesquisa. Essa intervenção teve duração total de uma hora/aula e foi realizada no laboratório da escola.

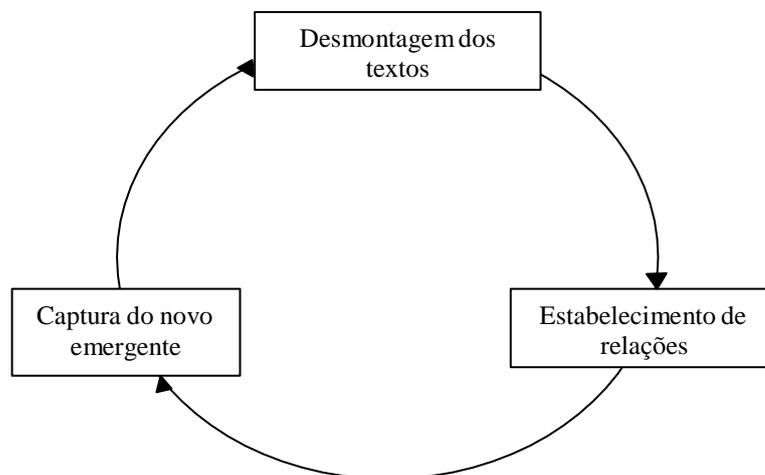
#### 4.4 Análise dos dados obtidos

Como discutido no início deste capítulo, nossa pesquisa tem caráter qualitativo, pois favorece a compreensão do assunto em estudo através da análise de todo o material produzido pelos sujeitos envolvidos na pesquisa, o chamado *corpus*, levando em consideração principalmente os conceitos prévios destes indivíduos. Sendo assim, acreditamos que esse tipo de investigação possibilita o emprego da metodologia de análise do tipo análise textual discursiva (ATD).

A análise textual discursiva, conforme a descrição feita por Moraes e Galiazzi (2006) pode ser compreendida como:

Uma análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise na pesquisa qualitativa que são a análise de conteúdo e a análise de discurso. Existem inúmeras abordagens entre estes dois polos, que se apoiam de um lado na interpretação do significado atribuído pelo autor e de outro nas condições de produção de um determinado texto. Ainda que o termo *análise textual*, segundo Titscher et al. (2002), possa relacionar-se a uma diversidade de abordagens de análise, incluindo-se nisto a análise de conteúdo e as análises de discurso, [...] a ATD assume um sentido específico (MORAES e GALIAZZI, 2006, p. 118).

A ATD consiste na análise e interpretação dos diferentes materiais obtidos durante a pesquisa, com o objetivo de compreender de maneira mais profunda as informações contidas no objeto em estudo. Essa metodologia de análise é realizada em três etapas: desmontagem dos textos, estabelecimento de relações e captura do novo emergente, conforme Esquema 11.



Esquema 11 - Elementos principais da ATD.

O processo de desmontagem dos textos, também definido como unitarização, compreende a tentativa do pesquisador em analisar o material obtido, fragmentando-os em unidades cada vez menores, possibilitando a interpretação de diferentes significados que possam estar subentendidos nesse material (MORAES, 2003). Todo esse processo apresenta caráter hermenêutico, uma vez que essa interpretação de significados é parte intrínseca do processo para que haja a emergência de novas compreensões em relação aos fenômenos investigados. A fragmentação dos textos é acompanhada pela extração de palavras-chave que auxilia na organização das informações relevantes e comuns a pesquisa (informação verbal)<sup>13</sup>. Todo esse conjunto de ações exige do pesquisador um trabalho intenso e profundo, pois é papel dele estabelecer e identificar relações entre as partes e o todo, sem perder a essência do contexto no qual o material foi obtido.

A segunda etapa da ATD, estabelecimento de relações, consiste na categorização dos dados presentes nos textos que foram fragmentados na etapa anterior. Segundo Moraes e aliazzi (2006, p. 118), este processo de categorização é realizado para “reunir as unidades de significado semelhantes, que podem gerar vários níveis de categorias de análise”. A categorização pode ser feita de duas formas, *a priori* ou emergente. A primeira refere-se a construção de categorias já definidas previamente pelo pesquisador, antes do processo de análise. E a segunda, implica na construção de categorias baseadas nas informações contidas no material a ser analisado (MORAES, 2003; TORRES et al., 2008).

A captura do novo emergente, última etapa do ciclo da ATD, torna-se possível devido à análise, interpretação e categorização realizadas nas etapas descritas anteriormente, possibilitada pelo surgimento da compreensão renovada do todo, conforme Torres et al., (2008). Essa captura expressa as compreensões obtidas durante toda a análise do *corpus* e resulta na elaboração de metatextos, ou seja, a análise feita sobre a própria análise. As palavras de Moraes, (2003) sugerem que os metatextos sejam constituídos de:

[...] descrição e interpretação, representando o conjunto um modo de compreensão e teorização dos fenômenos investigados. A qualidade dos textos resultantes das análises não depende apenas de sua validade e confiabilidade, mas é, também, consequência de o pesquisador assumir-se como autor de seus argumentos (MORAES, 2003, p. 202).

A escolha pela utilização da ATD neste trabalho está baseada no fato de que este tipo de metodologia de análise considera as realidades envolvidas como incertas e instáveis

---

<sup>13</sup> Minicurso ministrado por Maria do Carmo Galiazzi e Maurivan Güntzel Ramos no 32º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química, Rio Grande, outubro de 2012.

(MORAES, 2004). Por isso o protagonismo do pesquisador no papel de descrever e interpretar as informações contidas nos diferentes materiais utilizados durante sua pesquisa.

As categorias elaboradas para a análise dos dados da nossa pesquisa e a discussão dos mesmos serão apresentadas no capítulo 5 desta dissertação.



## **CAPÍTULO 5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A seguir discutiremos os resultados obtidos durante o desenvolvimento das intervenções, relatadas no capítulo 4. Os resultados da análise de cada intervenção desenvolvida nessa pesquisa foram categorizados de acordo com a metodologia da análise textual discursiva proposta por Moraes (2003). Para preservar a identidade dos participantes da pesquisa, optamos por designar a cada um deles um número aleatório de identificação.

### **5.1 Análise e discussão da intervenção “Sondagem diagnóstica”**

A realização da sondagem diagnóstica teve por objetivo apontar alguns aspectos relevantes que pudessem ser utilizados para caracterizar a turma, na tentativa de melhor conhecer os sujeitos participantes da pesquisa. Para que isso fosse possível, aplicamos um questionário diagnóstico à turma (Apêndice 1). Os dados coletados por meio desse instrumento foram analisados e categorizados nas seguintes categorias, que serão discutidas no decorrer do trabalho:

- Componente curricular preferido;
- Presença da Química no cotidiano;
- Aulas experimentais de Química;
- Constituição da matéria.

#### **5.1.1 Componente curricular preferido**

O ensino médio gaúcho vem passando por modificações devido à implantação do ensino politécnico, que visa à articulação entre as diferentes áreas do conhecimento e suas tecnologias com os eixos Cultura, Ciência, Tecnologia e Trabalho (RIO GRANDE DO SUL, 2011). Apesar de essas alterações ocorrerem de forma gradativa, e considerarem as diferentes áreas do conhecimento, em nossa pesquisa, optamos por conhecer a preferência dos

estudantes em relação aos componentes curriculares que compõem a matriz curricular da escola.

Por meio da análise das respostas dadas pelos estudantes, percebemos que as preferências são bastante variadas, conforme as respostas a seguir:

Estudante 7: Biologia e Química, pois elas tratam muito da Ciência, e Ciência chama minha atenção e desperta minha curiosidade.

Estudante 9: Gosto de Matemática, porque eu acho uma matéria objetiva.

Estudante 13: Biologia e Português. Gosto da leitura, como quero fazer Veterinária, a Biologia se enquadra aqui.

Estudante 14: Filosofia, Biologia e Química. A Filosofia porque estuda sobre a vida e a maneira de lidar com ela. Biologia porque eu gosto das aulas práticas e a Química porque é interessante descobrir do que são formadas as coisas.

Estudante 25: Matemática, porque me ajuda em contas. O Inglês para eu poder viajar um dia e Educação Física para ter uma vida saudável.

Estudante 33: Minhas preferidas são Artes e História, porque em Artes aprendemos as culturas e em História aprendemos os contos de um povo, uma nação da antiguidade e da atualidade.

Além disso, a análise aponta que vinte e sete alunos citaram pelo menos um componente, referente às Ciências da Natureza e suas Tecnologias, ou seja, Química, Física e Biologia, o que indica que grande parte da turma tem afinidade pelos componentes curriculares que compõe essa área do conhecimento. No Gráfico 10, podemos visualizar a preferência dos estudantes em relação aos diferentes componentes curriculares.

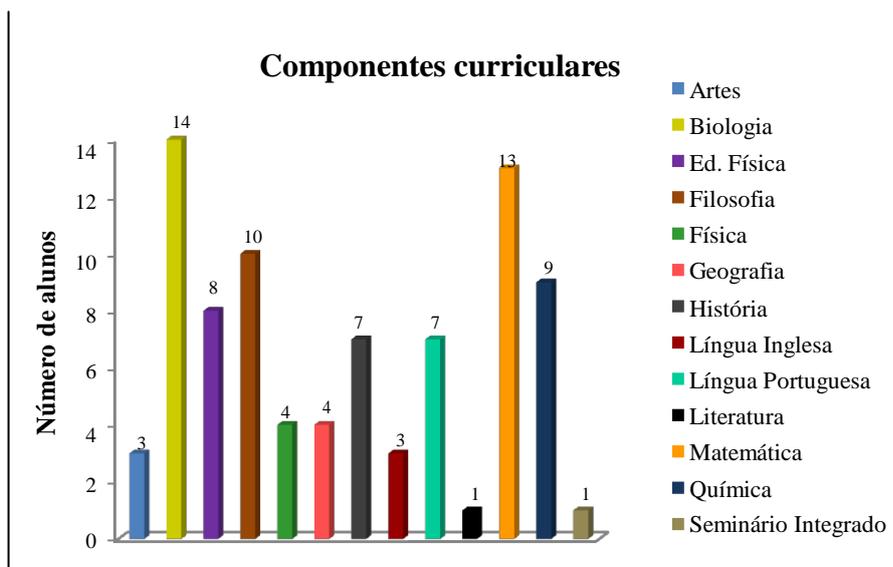


Gráfico 10 - Preferência dos estudantes em relação aos componentes curriculares.

Inúmeros são os fatores que influenciam a escolha dos alunos pelos componentes curriculares de Química, Física e Biologia, esse resultado pode ser evidenciado pelas respostas de alguns estudantes, porém a curiosidade e o “saber do que as coisas são feitas”, são as justificativas de maior incidência.

Outra constatação que pode ser feita nessa análise, é o caso do Seminário Integrado. Esse componente curricular consiste na articulação entre dois blocos, a parte diversificada e a formação geral, que fazem parte do currículo do ensino médio politécnico do estado do RS. A articulação de ambos os blocos deve ser feita através de projetos interdisciplinares construídos nos Seminários Integrados (RIO GRANDE DO SUL, 2011). Em relação aos nossos dados, apenas um estudante cita a preferência por esse componente curricular. Acreditamos que isso está relacionado ao fato de que esse componente curricular é novo e propõe uma maneira diferenciada de trabalhar os conceitos em sala de aula, além de exigir uma postura mais colaborativa dos estudantes, por isso, muitas vezes, eles apresentam certa resistência a esse tipo de trabalho.

### 5.1.2 A presença da Química no cotidiano

Compreender a importância da Química, bem como identificar situações do cotidiano que envolvam essa Ciência faz parte da alfabetização científica de qualquer ser humano. No contexto escolar, para que haja a possibilidade de aprendizagem é necessário que o professor valorize a realidade dos estudantes em suas aulas. Conforme destacam os PCNEM, valorizar situações cotidianas dos alunos é permitir que estes desenvolvam uma nova perspectiva, a de observar sua realidade, compreendê-la e sentir necessidade de modificá-la (BRASIL, 2006).

Dessa forma, procuramos identificar quais elementos do cotidiano foram relacionados pelos estudantes com a Química. Nosso estudo apontou que todos os estudantes conseguem identificar a presença da Química em seu dia a dia. Isso fica evidenciado nos relatos de alguns estudantes:

Estudante 7: A Química está presente na minha respiração.

Estudante 8: A Química sempre está presente no nosso dia a dia. Nos tipos de roupas, no celular e nos fones de ouvido que uso.

Estudante 17: Está presente na fermentação de um bolo, na digestão de alimentos e em nosso organismo.

Estudante 21: Vejo ela (a Química) nas roupas que usamos, em comidas, remédios e vacinas.

Estudante 32: Desde o momento que acordamos, ao escovar os dentes, tomar café, etc.

Inúmeras são as relações que os estudantes conseguem fazer entre essa Ciência e os acontecimentos de seu cotidiano. Essas relações<sup>14</sup> foram organizadas em seis subcategorias, sendo elas: roupas, aparelhos eletrônicos, alimentação, cosméticos e higiene, corpo humano e meio ambiente. O Gráfico 11 apresenta as relações realizadas, a organização em subcategorias e seus respectivos itens.

---

<sup>14</sup> Pela análise do Gráfico 11, percebemos que o número de respostas por subcategorias ultrapassa o número total de participantes desta pesquisa, isso se deve ao fato de que vários estudantes, em seus relatos, relacionam a Química à mais de um elemento presente em seu cotidiano.

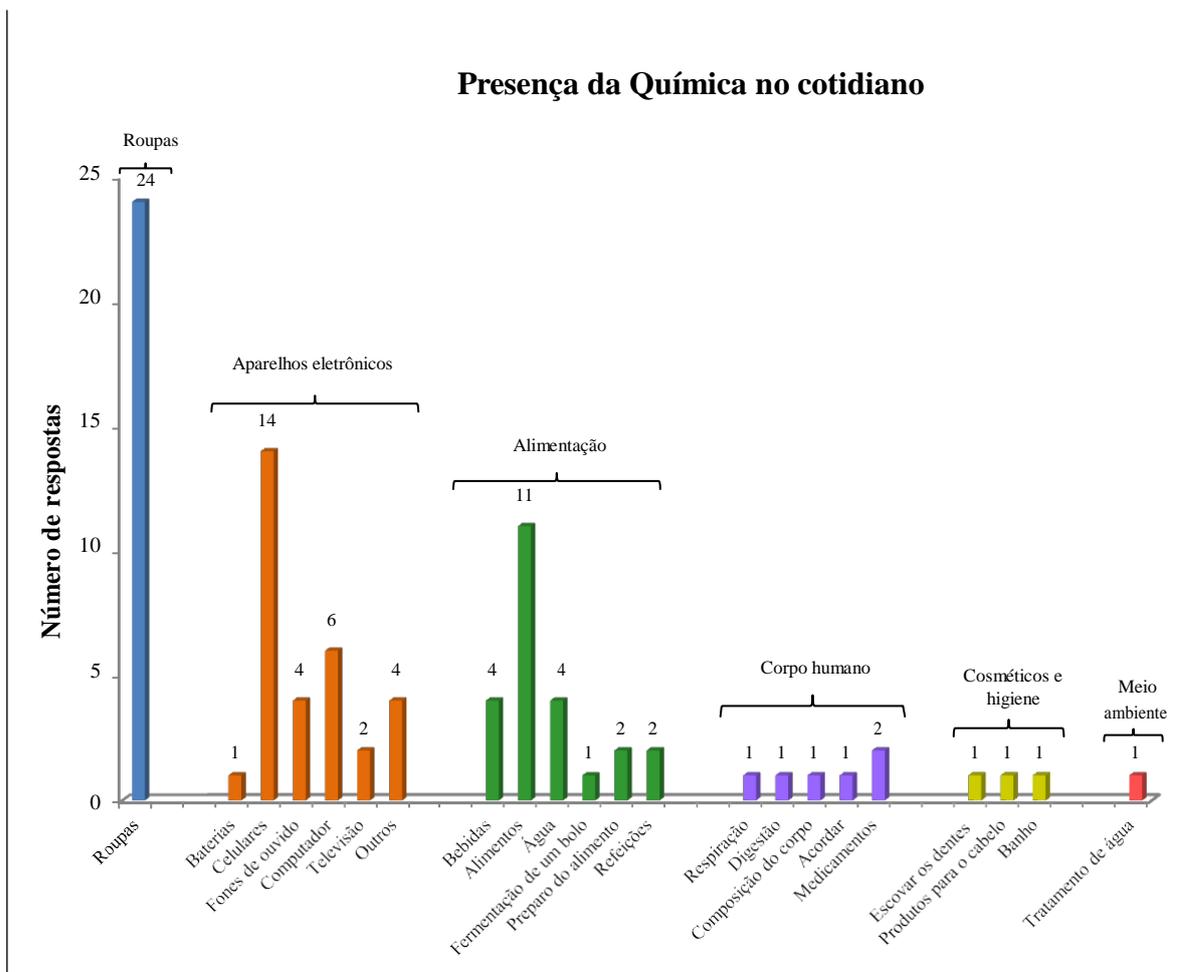


Gráfico 11 - Relações entre a Química e o cotidiano feitas pelos estudantes.

O Gráfico 11 nos mostra que as três primeiras subcategorias, roupas, aparelhos eletrônicos e alimentação, foram as mais relacionadas pelos estudantes com seu dia a dia. A subcategoria “roupas” foi citada por vinte e quatro alunos, dentre suas justificativas, podemos citar os diferentes materiais que constituem as roupas e suas cores. Em relação à subcategoria aparelhos eletrônicos, trinta e um alunos a relacionam com seu cotidiano, sendo identificada por catorze estudantes no item “celulares”. Acreditamos que essa observação está ligada a presença cada vez mais constante da tecnologia na vida dos adolescentes.

Apesar de a subcategoria “alimentação” ter sido mencionada por diversos estudantes, chamamos a atenção para dois itens: alimentos e fermentação de um bolo. O primeiro, “alimentos”, foi citada por onze alunos, indicando que muitos deles conseguem relacionar a Química principalmente com a composição dos alimentos. Já o segundo item citado, fermentação de um bolo, é aqui destacado pelo conhecimento que o aluno apresenta em

relação à composição química dos alimentos, ideia de reação química e transformação envolvidas no processo de fermentação.

Além disso, verificamos ainda que alguns estudantes relacionam a Química com os cosméticos e higiene, corpo humano e meio ambiente. Essas relações incluem desde escovar os dentes, tomar banho, respirar, digerir alimentos, medicamentos, tratamento de água e a composição do próprio corpo.

Essas constatações nos fazem refletir sobre a importância do papel do professor na abordagem dos conteúdos desenvolvidos em sala de aula conectados com as diversas situações vivenciadas por seus alunos, para que em conjunto construam essas conexões.

### 5.1.3 Aulas experimentais de Química

Um dos fatores que ainda contribui, para que mais estudantes consigam ver a Química como uma Ciência puramente teórica e desvinculada de fatos de seu cotidiano pode estar relacionado à carência e até mesmo a ausência de aulas experimentais. Moraes et al. (2007, p. 202) afirmam que a “experimentação e as atividades práticas sempre tiveram uma elevada consideração no encaminhamento de aprendizagens em Química”, sendo assim destacamos a importância de se realizar atividades deste tipo. Baseando-se nessa premissa, perguntamos aos estudantes se eles haviam participado de aulas experimentais de Química, e algumas respostas foram:

Estudante 2: Tive aulas experimentais no outro colégio, na oitava (série) mas foram de Biologia. Elas (as aulas experimentais) eram legais, dinâmicas e me surpreenderam.

Estudante 12: As aulas foram na oitava série, eram bem simples. Íamos bastante ao laboratório fazer experimentos.

Estudante 22: Não tive aula de Química no laboratório porque a professora disse que o conteúdo que estávamos aprendendo não podia ser feito no laboratório.

Estudante 28: Não, nunca tive a oportunidade.

Estudante 30: Não tive aulas experimentais de Química ainda, mas acredito que elas são bem interessantes.

A partir da análise dos relatos, concluímos que apenas dois, dos trinta e sete alunos, já haviam participado de aulas experimentais, sendo essas aulas desenvolvidas na oitava série do

ensino fundamental ou na componente curricular de Biologia. Os demais estudantes, um total de trinta e cinco, nunca participaram de atividades experimentais. Percebemos que os alunos tem vontade de participar de aulas desse tipo uma vez que aulas experimentais são interessantes, despertam a curiosidade e aproximam os conceitos químicos aprendidos em sala de aula a situações de seu cotidiano. Já o relato do estudante 22 emerge um problema que ainda persiste na área de ensino de Ciências, a resistência que os professores apresentam em desenvolver atividades experimentais com seus alunos. Dentre as justificativas dos professores estão: a falta de tempo, a ausência de laboratórios, materiais e equipamentos ou até mesmo alguns conceitos químicos difíceis de serem desenvolvidos na prática (ARRUDA e LABURÚ, 1998; NARDI, 2004).

Por meio dessa análise destacamos a importância do emprego de atividades experimentais no ensino de Química. Conforme Sartori (2012, p. 51), “a experimentação no ensino de Ciências assume um importante papel didático ao conduzir os estudantes a uma grande interação com os variados elementos e fenômenos que o processo de experimentação pode revelar”. Os relatos dos estudantes evidenciam a vontade deles em conhecer e participar de atividades que diferem das aulas tradicionais de Química. O cenário atual do ensino está se modificando, sabemos que a realização de atividades experimentais é cada vez mais comum nas escolas. Sendo assim, essa postura deveria ser uma tendência entre todos os professores, inclusive as escolas.

#### 5.1.4 Constituição da matéria

A fim de conhecer as noções que os estudantes possuem acerca da constituição da matéria fizemos o seguinte questionamento: “Qual a constituição dos objetos, da natureza, das pessoas, enfim, de toda a matéria que nos rodeia?”.

Estudante 1: Acho que as coisas que nos rodeiam são formadas por átomos. Sei que o átomo é a menor partícula da matéria. Possui um núcleo maciço com carga positiva e neutra e uma eletrosfera (elétrons).

Estudante 7: Não sei explicar direito, mas sei que algumas coisas de dentro delas se juntaram para formá-las.

Estudante 26: Nunca parei pra pensar sobre isso.

Estudante 35: Tudo na natureza é formado por átomos, que não se vê a olho nu.

Os relatos demonstram diferentes explicações possíveis, sugeridas pelos estudantes, na tentativa de compreender a constituição da matéria. Grande parte da turma, trinta e um estudantes, acredita que a matéria é constituída por átomos e entidades menores que o compõem, essa observação fica evidente nas respostas dos estudantes 1 e 35. A resposta dada pelo estudante 7 evidencia que apesar de não saber explicar corretamente qual a constituição da matéria, ele tem noção de que a mesma é formada por partículas atômicas que se reúnem umas as outras para formar a matéria.

O estudante 26 relata que nunca havia pensado sobre a constituição de tudo o que o rodeia. Essa postura também é identificada nas respostas dadas por mais cinco estudantes, que além de não pensarem sobre o assunto, não sabiam responder ao questionamento.

A realização da intervenção “Sondagem diagnóstica” teve como objetivo, além de caracterizar a turma em diferentes aspectos, avaliar e utilizar os relatos dos estudantes como base para a elaboração e desenvolvimento das demais intervenções relacionadas com o estudo da estrutura da matéria.

## **5.2 Análise e discussão da intervenção “Evolução dos modelos atômicos”**

A segunda intervenção desenvolvida com a turma objetivou abordar os conceitos relacionados com a evolução dos diferentes modelos de átomo, contemplando aspectos químicos, físicos e históricos. Os dados desta intervenção foram obtidos por meio da aplicação de um questionário e pela resolução de problemas.

Inicialmente, algumas indagações foram feitas a turma na tentativa de promover discussões sobre o tema em estudo e relacioná-los com o cotidiano dos estudantes. Ainda nesse momento da intervenção, foi solicitado aos alunos que respondessem a um questionário com o intuito de evidenciar as concepções apresentadas por eles em relação à estrutura da matéria. No segundo momento, um guia (Apêndice 2) foi distribuído aos estudantes para ser preenchido a medida que os conceitos necessários para a compreensão do assunto em estudo fossem sendo desenvolvidos. Além disso, os questionamentos realizados no início da atividade foram discutidos nesta ocasião.

Já no terceiro momento da intervenção, os estudantes foram instigados a resolverem alguns problemas presentes em um roteiro (Apêndice 3), relacionados com seu cotidiano, envolvendo os conceitos apresentados na etapa anterior.

Dessa forma, destacamos as seguintes categorias que emergiram da análise de todos os dados obtidos durante esta intervenção:

- Concepções dos estudantes em relação ao átomo;
- Acontecimentos químicos, físicos e históricos da evolução atômica;
- Os modelos atômicos e os fatos do cotidiano.

### 5.2.1 Concepções dos estudantes em relação ao átomo

O conceito de átomo bem como as noções que envolvem o entendimento da matéria exige elevada capacidade de abstração dos estudantes tanto do ensino fundamental quanto do ensino médio. Essas ideias se distanciam do mundo macroscópico, o qual o aluno está habituado a transitar. Sendo assim, uma possível maneira de amenizar essa situação é estimular que os estudantes criem modelos, a partir de suas concepções, na tentativa de compreender o mundo microscópico. As concepções são construções pessoais dos estudantes, elaboradas de forma espontânea através da sua interação com o meio e com outras pessoas. Conforme Pozo (1998), a utilização dessas concepções em sala de aula organiza e dá sentido às diversas situações de ensino e aos conteúdos a serem desenvolvidos. Dessa forma, destacamos a importância de conhecer essas concepções, com o objetivo de auxiliar na construção de futuros conceitos a serem trabalhados na disciplina de Química e evitar a geração de conceitos alternativos e equivocados.

Partindo dessas suposições e dos conhecimentos prévios adquiridos pelos estudantes durante sua formação até então, foram questionados sobre como imaginavam o átomo. A partir da análise das respostas escritas obtidas foram elaboradas três subcategorias. A primeira está relacionada com a representação das partes do átomo, núcleo e eletrosfera, sendo que essas poderiam ser indicadas por escrito, através de desenhos ou esquemas. A segunda subcategoria diz respeito à identificação das partículas constituintes do átomo, ou seja, prótons, elétrons e nêutrons. Nesse caso, os estudantes poderiam identificar ou não todas essas partículas, identificar apenas uma ou mais de uma, desta forma as respostas ainda foram agrupadas em:

- não identificou;
- prótons;
- elétrons;

- nêutrons;
- prótons e elétrons;
- prótons e nêutrons;
- elétrons e nêutrons;
- identificou as três partículas.

As partículas foram identificadas pelos estudantes de três formas: por escrito, por signos, e por escritos + signos. Sendo assim, consideramos como signos a utilização da seguinte simbologia:  $p/p^{+}/+$  (prótons);  $e, e^{-}/-/'$  (elétrons);  $n/n^{\circ}$  (nêutrons). Já a última subcategoria está relacionada com o modelo atômico utilizado pelos estudantes na representação do átomo. Tais representações foram agrupadas, de acordo com a semelhança dos modelos descritos pela literatura, em: Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr.

Partindo da análise da primeira subcategoria, referente à identificação das regiões do átomo, todos os estudantes citaram ou apresentaram em suas representações o núcleo e a eletrosfera. Esse resultado demonstra que os estudantes possuem a ideia de compartimentalização do átomo bem resolvida, e que conseguem romper com as teorias iniciais que conceituavam o átomo como indivisível.

Todos os estudantes fizeram o uso de desenhos ou esquemas em suas representações, sendo que vinte e dois alunos indicaram por escrito o núcleo e a eletrosfera (30a) e apenas quinze estudantes simplesmente representaram essas duas regiões (30b). Essa observação é evidenciada pela análise das representações dos estudantes 8 e 31 na Figura 30.

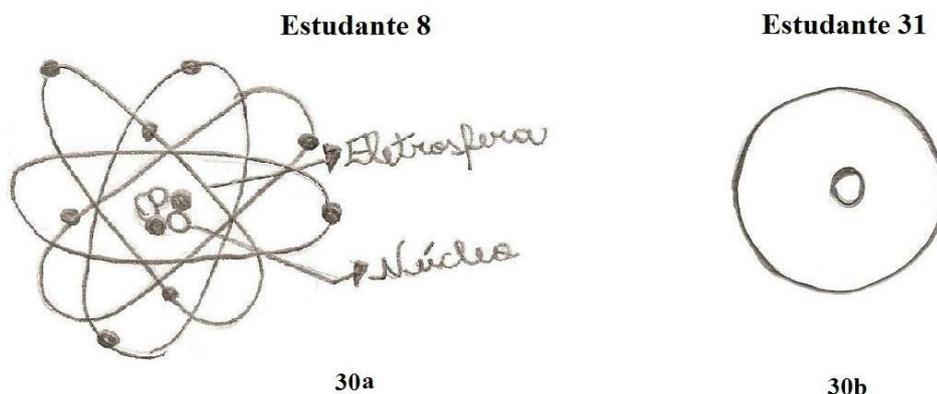


Figura 30 - Representações das regiões do átomo por escrito (30a) e sem indicação por escrito (30b).

Em relação à identificação das partículas constituintes do átomo, segunda subcategoria, observamos através do Gráfico 12 que menos da metade da turma identificou as três partículas: prótons, nêutrons e elétrons. Além disso, também constatamos que a partícula mais citada pelos estudantes é o elétron, pois dos trinta e sete alunos, vinte e sete lembraram dessa partícula em suas representações. Esses dados corroboram os resultados divulgados por outras pesquisas, como as de França et al. (2009) e Carmona (2006), que apontam a existência de um limite na capacidade dos estudantes de reconhecerem, em nível microscópico, a descontinuidade da matéria e suas partículas constituintes, e que dentre essas os estudantes fazem maior referência aos elétrons.

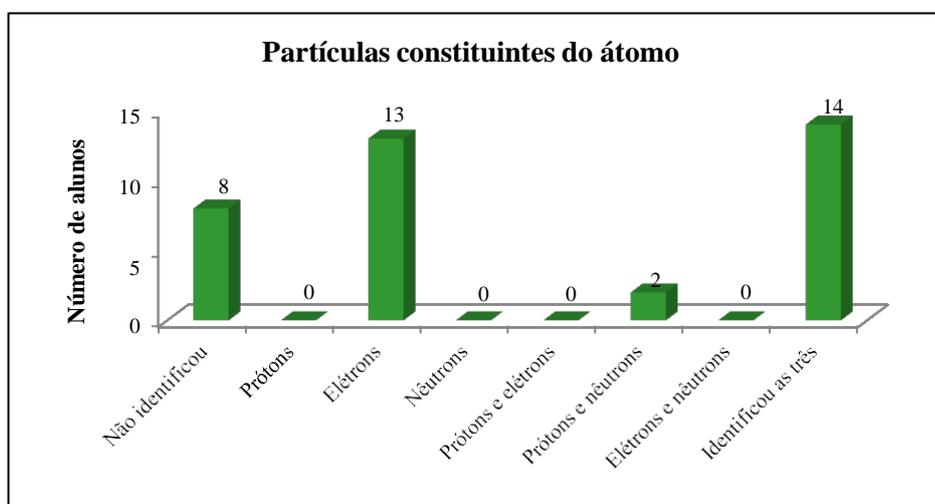


Gráfico 12 - Número de alunos que identificou as partículas constituintes do átomo.

Ainda na análise dessa subcategoria, ressaltamos que de um total de vinte e nove estudantes que identificaram pelo menos uma das partículas constituintes do átomo, apenas um estudante as representou apenas por escrito (31a), nove estudantes utilizaram apenas signos (31b) e dezenove estudantes identificaram por meio de palavras e signos (31c). Algumas dessas representações estão presentes na Figura 31.

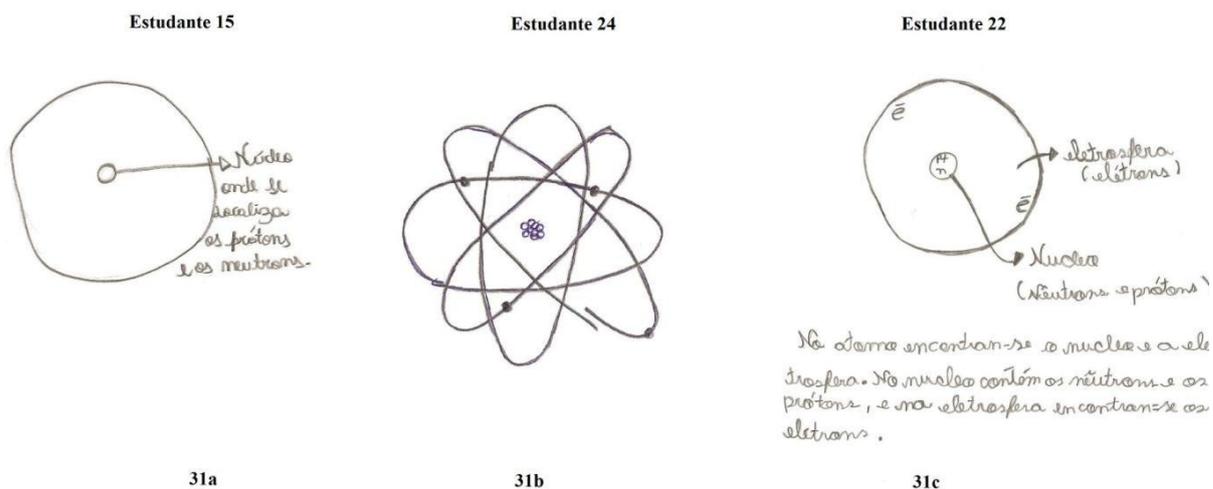


Figura 31 - Representação das partículas constituintes do átomo: por escrito (31a), por signos (31b) e por escrito + signos (31c).

Outro fato a ser destacado é que os estudantes já utilizam símbolos ou códigos, específicos da Química, em suas representações, pois a grande maioria da turma (vinte e oito estudantes) demonstrou esse conhecimento ao se referirem às partículas que constituem o átomo.

A terceira subcategoria procurou conhecer os modelos representativos utilizados pelos estudantes para o átomo. Analisando as respostas obtidas, constatamos que o modelo utilizado por praticamente todos os estudantes é o de Rutherford (Figura 32). Além disso, verificamos que nenhum estudante representou o átomo através dos modelos propostos por Dalton e Thomson, sendo que apenas um estudante representou o modelo de Bohr<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Consideramos as representações do modelo atômico de Bohr aquelas que apresentaram, além do núcleo e da eletrosfera, a transição eletrônica entre as camadas.

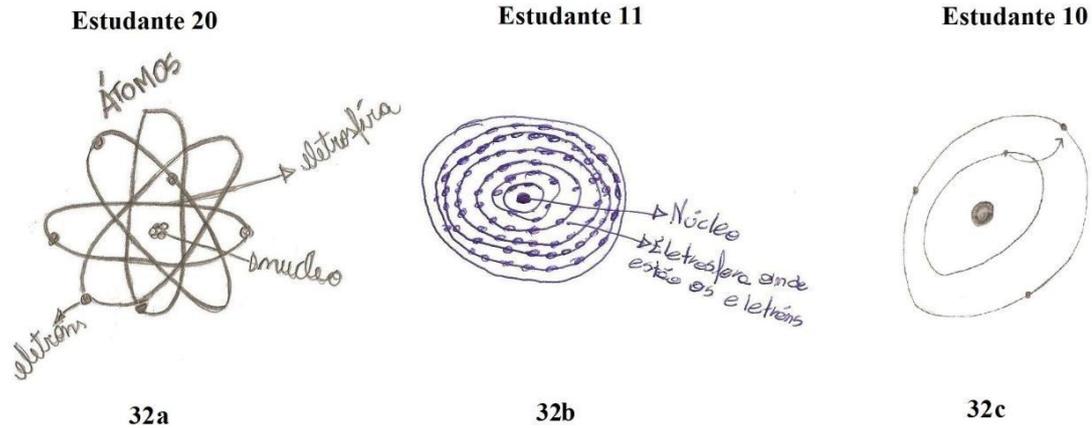


Figura 32 - Modelos representativos dos estudantes para o átomo: Rutherford (32a e 32b) e Bohr (32c).

A representação do modelo atômico de Rutherford proposta pelo estudante 11 (32b) demonstra que ele possui conhecimento em relação ao núcleo e à eletrosfera. Porém, este estudante não tem noção da quantidade de elétrons que cada camada eletrônica suporta, o que pode vir a se tornar um obstáculo, interferindo na aprendizagem de outros conteúdos da Química relacionados com este assunto.

Durante a análise dos dados, também destacamos a confusão entre átomo e célula apresentada por dois estudantes, conforme Figura 33. Percebemos que o estudante 3 representa o citoplasma como região intermediária entre o núcleo e a eletrosfera (33a). Já o estudante 23 além de representar o núcleo e o citoplasma, denomina de membrana plasmática, o que seria a eletrosfera em seu esquema (33b).

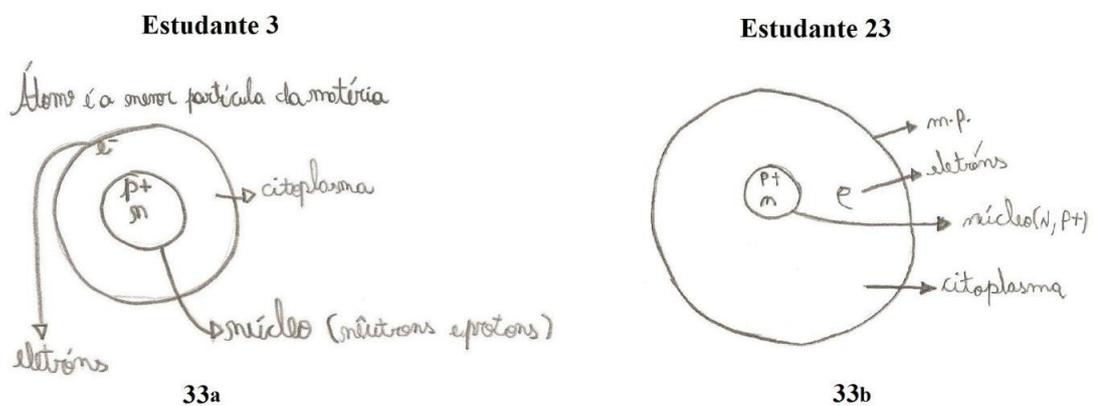


Figura 33 - Representação da confusão entre célula e átomo.

Esse comportamento pode ser justificado pelo fato de os estudantes aprenderem no ensino de Biologia que a célula é a menor parte do ser vivo e que o átomo, no ensino de Química, é a menor parte da matéria. Além disso, um possível agravante dessa confusão é que tanto o átomo como a célula possuem núcleos. Esta confusão já foi descrita em outras pesquisas, como as realizadas por Galiazzi et al. (1997), Gomes e Oliveira (2007) e França et al. (2009).

Portanto, conhecer as concepções dos estudantes em relação ao átomo foi importante para que pudéssemos a partir delas detectar suas dúvidas e dificuldades sobre os conceitos necessários para o entendimento da matéria e para a construção de novos conceitos.

### 5.2.2 Acontecimentos químicos, físicos e históricos da evolução atômica

Abordar e acompanhar a evolução dos conceitos científicos seja no contexto químico, físico e histórico pode ser uma ferramenta para os professores no desenvolvimento de um ensino mais integrado, que possibilite aos estudantes a interpretação de situações cotidianas a partir desse contexto. Dessa forma, Mortimer (1992) defende em seu trabalho, que a percepção da evolução dos conceitos pode contribuir para que

o aluno compreenda como se dá a produção do conhecimento, percebendo inclusive as rupturas que existem entre a Química clássica e a Química moderna, e como as noções que eram simples na Química clássica se tornaram complexas na Química moderna. Essa perspectiva nega a visão da Química enquanto uma Ciência estática, presa a um mundo de leis naturais imutáveis [...] (MORTIMER, 1992, p. 244).

Além disso, o argumento de Debus (1971) também sinaliza para a importância de se compreender o papel da Ciência, em sala de aula, por meio do contexto histórico dos fatos envolvidos. Conforme o autor, este “recurso é precioso para os estudantes entenderem os fatores que afetam a mudança de visão do homem a respeito da natureza” (DEBUS, 1971, p. 804).

Nesse contexto, os estudantes foram questionados sobre quais aspectos relacionados com o estudo da evolução da estrutura da matéria mais lhes chamou a atenção, e quais modificações e rupturas ocorreram para que fosse necessária a substituição de um modelo de átomo por outro. Alguns relatos dos estudantes foram:

Estudante 2: Muita coisa me chamou a atenção, gostei de saber que as pessoas antigamente também se interessavam pelos estudos da matéria. Que Bohr corrigiu os erros das “contas” do trabalho de Thomson, que ficou furioso, e descobriu o salto do elétron que emite luz e hoje em dia é muito usado.

Estudante 7: Gostei de saber das várias experiências que foram feitas e modelos que foram criados. Mesmo alguns deles (modelos) errados, foram modificados para se chegar ao atual.

Estudante 22: Me chamou a atenção saber que precisou de muitas experiências ao longo dos anos para ser entendido como é realmente um átomo.

Estudante 28: Gostei de saber que até chegar ao modelo de átomo atual houve vários modelos atômicos que se contradiziam, muitas vezes, e que geravam assim alguns conflitos.

Estudante 30: O estudo de alguns físicos gerou outros estudos, os quais mesmos incorretos (alguns) nos mostraram muitas observações importantes. Gostei também de quando Bohr corrigiu os erros de Thomson, mesmo sendo mais novo no ramo da Ciência.

Estudante 35: Legal foi saber que desde antes de Cristo, os gregos já haviam criado conceitos sobre o átomo e que agora o significado dele é bem mais nítido. Ele (átomo) não “acaba”, só vai se dividindo em partes cada vez menores.

Podemos perceber pelas opiniões dos estudantes, que eles apresentam noções de que a Ciência está em constante modificação, em busca do aprimoramento das diferentes ideias relacionadas com a evolução do átomo. Relatos como os dos estudantes 7, 22, 28, 30 e 35, por exemplo, explicitam a ideia de que os inúmeros modelos desenvolvidos para o átomo, mesmo apresentando falhas, sofreram modificações na tentativa de se chegar a um modelo que correspondesse à necessidade do momento. Os estudantes 2 e 30 ainda destacam o encontro nada amigável entre Bohr e Thomson, no qual o primeiro aponta erros nos cálculos de Thomson, bastando para que este resistisse ao máximo as mudanças propostas por Bohr com base na mecânica quântica. Observamos que os alunos reconhecem que a Ciência está em constante modificação, pode ser construída de maneira conjunta por diversos cientistas, e que suas pesquisas muitas vezes não ocorrem de forma isolada.

Uma observação importante é que apenas dois estudantes mencionam a preocupação dos gregos em compreender a matéria. Mesmo antes de Cristo, conforme a observação do estudante 35, diversos filósofos já demonstravam interesse em encontrar elementos que pudessem explicar a constituição do universo e seu comportamento. Tal observação pode estar relacionada ao fato de que muitas vezes, em sala de aula, aos gregos é atribuída apenas a criação do nome átomo, sem enfatizar que foram eles que iniciaram o estudo da matéria, como aponta o estudante 2. Por último, ressaltamos a observação feita pelo estudante 2, no trecho que se refere ao modelo de Bohr. O aluno menciona que após a tentativa frustrada de

Bohr em trabalhar com Thomson, ele enuncia seu próprio modelo relacionado com o salto quântico que atualmente ainda é empregado para explicar diversos fenômenos do nosso cotidiano.

Desenvolver os conceitos químicos relacionados ao estudo do átomo, aliados a aspectos de outras áreas do conhecimento, em nosso caso História e Física, pode auxiliar os estudantes na construção de uma visão mais colaborativa da Ciência tanto com o meio quanto com os indivíduos que constituem a sociedade.

### 5.2.3 Os modelos atômicos e os fatos do cotidiano

Na tentativa de fazer com que os estudantes desenvolvam um pensamento crítico e criem relações entre a Química e os fatos do cotidiano, eles foram desafiados a resolver algumas situações problemas ligadas à estrutura da matéria. Os problemas estavam relacionados a diferentes tópicos, tais como: as cores dos fogos de artifício, funcionamento das televisões de tubo, os letreiros luminosos de neônio e as lâmpadas de vapor de sódio ou mercúrio das ruas, pulseiras de neon e esmaltes fluorescentes (Apêndice 3). Sendo assim, os conceitos abordados nas etapas anteriores e a utilização do livro didático como meio para consulta, deveriam auxiliar os alunos na solução dos questionamentos.

Analisando as respostas, percebemos que alguns alunos, cerca de vinte, conseguem apontar a relação entre os modelos atômicos e alguns fatos presentes em seu cotidiano, além de proporem explicações baseadas na teoria atômica. Para pelo menos um dos fenômenos apresentados acima. Desses vinte estudantes, quatro mencionam o modelo atômico de Thomson, três o modelo de Rutherford e treze o modelo proposto por Bohr. Alguns relatos são apresentados abaixo:

Estudante 1: Eu sabia que os fogos de artifício são feitos de pólvora e algum corante. Mas durante minha pesquisa nos livros, fiquei sabendo que as cores dos fogos de artifício na verdade, são resultado dos saltos dos elétrons de diferentes metais. Dependendo do metal, a cor será diferente. Isso é explicado pelo modelo de Bohr, da absorção e emissão de energia.

Estudante 14: Aquelas luzes meio amarelas que ficam nos postes das ruas tem um gás dentro, tipo a lâmpada fluorescente. Esse gás, formado por átomos que tem elétrons, recebe um choque (corrente elétrica) e libera luz. Quem explica isso é a teoria do Bohr, encontrei no livro essa informação.

Estudante 20: No livro que eu peguei, ele traz as lâmpadas coloridas de neônio com a explicação do salto do elétron, que é do modelo atômico de Bohr. Mas eu fiquei em dúvida, porque para mim o (modelo) de Rutherford não tá errado, o elétron pode “salta” nele também.

Estudante 26: Eu sei que o que acontece na TV de tubo tem a ver com o modelo atômico de Thomson. O professor de Física um dia explicou sobre uns raios (catódicos) que “batem” na tela e daí fica luminoso. A relação com o modelo de Thomson é por causa do “raio” e não por causa do pudim de passas que a professora falou.

As respostas demonstram que os estudantes, com o auxílio das fontes de pesquisa, conseguem expressar algumas ideias, relacionando os fatos apresentados com as teorias atômicas. O relato do estudante 1, evidencia que a utilização dos meios de consulta o auxiliou a adquirir novas informações sobre os fogos de artifício, além de complementar os conhecimentos que já sabia em relação a composição dos mesmos. Os livros didáticos também contribuíram para que o estudante 14 conseguisse relacionar o funcionamento das lâmpadas de sódio, utilizadas na iluminação pública, com o modelo atômico de Bohr, apesar de seu relato apresentar alguns erros conceituais. Destacamos também a resposta do estudante 20, que a partir de sua pesquisa, encontra no modelo atômico de Bohr a explicação para os letreiros luminosos de neônio. Entretanto, esse mesmo estudante não apresenta convicção na explicação encontrada no livro e sugere que o modelo de Rutherford também pode ser utilizado para explicar o salto quântico do elétron. Acreditamos que essa confusão se deve ao fato de que ambos os modelos mencionam a presença de elétrons, na eletrosfera, “girando” ao redor do núcleo, porém o modelo de Bohr introduz a ideia de que essa eletrosfera seja formada por níveis ou camadas circulares, diferente do modelo de Rutherford, também conhecido como modelo planetário, por sua semelhança ao sistema solar. Podemos ressaltar ainda que em muitos livros didáticos, o modelo de Bohr aparece apenas como um aperfeiçoamento do modelo de Rutherford. Por último, o estudante 26 ao tentar explicar como os televisores de tubo funcionam, utiliza conhecimentos adquiridos durante as aulas de Física e Química. Dessa forma, ele relaciona as explicações do professor de Física para justificar a relação entre as televisões de tubo e o modelo atômico de Thomson. Além disso, deixa claro que a explicação para o fenômeno está relacionada aos raios catódicos mencionados por Thomson, e não pela representação de seu modelo, ou seja, o “pudim de passas”.

Os demais estudantes, um total de dezessete, apresentam ideias mais gerais sobre as situações problemas, sem mencionarem o modelo atômico específico que as fundamentam, ou ideias confusas e muitas vezes equivocadas. Isso pode ser observado nos relatos dos alunos 7, 14, 22 e 32.

Estudante 7: Infelizmente não encontrei nenhuma explicação nos livros sobre as pulseirinhas de neon, eu conheço elas e acredito que não contenham apenas neon em sua composição.

Estudante 14: Os fogos de artifício são feitos de pólvora e átomos de elementos químicos que geram a explosão e produzem as cores. Eu peguei uma vez, mas nunca olhei dentro para ver se tem tudo isso lá dentro.

Estudante 34: Só sei que bato na pulseirinha pra ela brilhar. Acho que tem um gel especial lá dentro que precisa ser batido pra ela ficar neon.

Estudante 37: Acho que as pulseiras de neon funcionam como os letreiros de neon, senão não tinha esse nome.

As ideias, acima apresentadas, mesmo que não embasadas em teorias científicas vistas em sala de aula, são importantes já que demonstram como os estudantes decodificam o mundo a partir dos conhecimentos que possuem. Os relatos dos estudantes 7, 14 e 32 evidenciam que apesar de não encontrarem uma explicação que relacionasse o fenômeno com os conceitos químicos, eles conseguem, dentro do seu próprio modo de ver o mundo e partindo de suas vivências, apontar algumas observações. O fenômeno de emissão de luz pelas *lightsticks*, é discutido de diferentes maneiras pelos estudantes 7 e 37. Em sua resposta, o estudante 7, menciona que durante sua pesquisa não encontrou nos LD tópicos que abordassem esse fenômeno, tal fato não foi obstáculo para que ele argumentasse sobre a composição das pulseiras. Já o estudante 37, sugere que a composição das *lightsticks* seja a mesma dos letreiros de neon. Essa confusão se deve tanto pela influência da denominação incorreta dada pelo mercado brasileiro às pulseiras, quanto pela semelhança devido à emissão de luz por ambos os objetos.

O estudante 22 é enfático em seu relato, ao por em dúvida a relação entre os esmaltes fluorescentes e a estrutura da matéria:

Estudante 22: Eu já usei esmalte fluorescente para ir a uma festa. Não sei como o átomo tem a ver com isso se para o brilho do esmalte aparecer só precisa de luz negra.

De modo geral, esses questionamentos aliados aos conhecimentos iniciais e a busca de informações através da consulta em LD, possibilitou aos estudantes a interpretação e resolução de situações problemas que envolvem fenômenos presentes em seu dia a dia. Tanto as situações novas quanto as já conhecidas, são interpretadas partindo-se daquilo que já se conhece. Todas essas noções iniciais apresentadas, conforme afirma Zylbersztajn (1983) devem ser identificadas, valorizadas e exploradas, para que a partir desse ponto, os estudantes

entrem em conflito com seu próprio conhecimento e sintam a necessidade de adquirir novas informações importantes para a construção de seu próprio conhecimento.

Sendo assim, é preciso questionar constantemente os conhecimentos trazidos pelos estudantes de suas vivências. Essas noções iniciais nem sempre são um obstáculo à aprendizagem, na verdade podem auxiliar na identificação de possíveis conceitos alternativos que ainda fazem parte das construções mentais destes alunos.

### **5.3 Análise e discussão da intervenção “A Química e as cores”**

Durante as duas primeiras intervenções, descritas anteriormente, podemos investigar e conhecer as concepções dos estudantes sobre diferentes aspectos relacionados com a estrutura da matéria. A partir da terceira intervenção, desenvolvemos atividades experimentais com o intuito de relacionar alguns fenômenos presentes no cotidiano dos estudantes com o modelo atômico de Bohr.

Através da observação e análise dos dados obtidos, as duas categorias elaboradas foram:

- Os fogos de artifício e sua relação com o átomo: ideias iniciais dos estudantes;
- Atividade experimental “algodão luminoso”.

#### **5.3.1 Os fogos de artifício e sua relação com o átomo: ideias iniciais dos estudantes**

As diferentes cores dos fogos de artifício sempre chamam a atenção de todos, e a explicação para esse fenômeno está relacionada ao modelo de átomo proposto por Bohr. Sendo assim, nessa primeira categoria, tentamos conhecer as noções que os estudantes apresentam em relação ao tema em estudo bem como avaliar as explicações dadas para o fato. Neste sentido, por meio dos relatos dos estudantes, podemos levantar algumas considerações em relação à composição dos fogos de artifício, conforme o Gráfico 13:

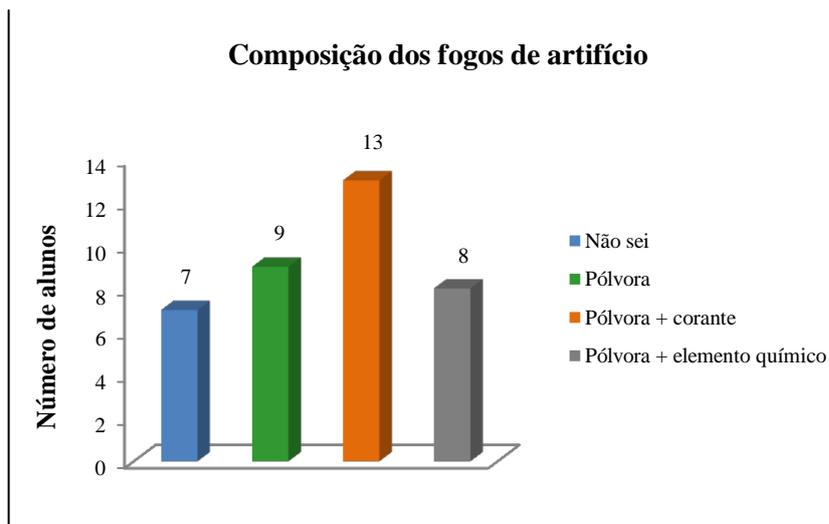


Gráfico 13 - Composição dos fogos de artifício.

O Gráfico 13 demonstra que grande parte dos alunos, um total de trinta, apresentam ideias sobre a composição dos fogos de artifício. Dentre esse número, destacamos que treze estudantes sugerem que os fogos de artifício possuam pólvora e corante em seu interior. Essa associação é feita da seguinte maneira: a pólvora é empregada para que ocorra a explosão quando ao fogo de artifício é fornecido calor, já o corante é o responsável pelas cores. Essa constatação pode ser evidenciada nos relatos abaixo apresentados:

Estudante 17: Os estouros são causados pela pólvora e a cor pelos corantes.

Estudante 26: Eles são feitos de pólvora, e quando “queimados” explodem coloridos, por causa dos corantes.

As opiniões dos estudantes evidenciam que o motivo de os fogos de artifício apresentarem diferentes cores, não está relacionado aos saltos eletrônicos que ocorrem nos metais que compõem esse artefato, mas sim devido à presença de corantes. Sendo assim, os estudantes empregam a palavra corante por acreditarem que apenas esses compostos sejam os responsáveis pelas cores dos fogos de artifício.

Ainda, percebemos que oito estudantes mencionam além da pólvora a presença de elementos químicos como principais componentes que constituem os fogos de artifício. Essas respostas demonstram que esses alunos já têm uma noção sobre o assunto, que mais se aproximam dos conhecimentos científicos envolvidos na explicação do fenômeno. Algumas respostas dadas pelos alunos foram:

Estudante 22: Eles (fogos de artifício) estouram através da pólvora e acho que são coloridos porque deve haver algum elemento de cor colorida misturado com a pólvora.

Estudante 28: Não sei exatamente como os fogos de artifício funcionam, mas creio que tenha pólvora e acontecem algumas reações. A cor se dá por elementos químicos, presentes em “pozinhos” de diferentes cores.

Apesar de encontrarmos alguns erros conceituais nos relatos destes estudantes, podemos afirmar que eles buscam respostas para explicar o motivo pelo qual os fogos de artifício são coloridos. No entanto, apenas dois estudantes fazem o uso da teoria atômica, mesmo que de maneira implícita, para explicar o fenômeno dos fogos de artifício, conforme respostas abaixo:

Estudante 1: Os fogos de artifício tem pólvora, elementos químicos e outras substâncias em sua composição. Quem é responsável pela cor deles (fogos de artifício) são os elementos químicos da tabela periódica. Os elétrons desses elementos são excitados pelo calor e “saltitam” entre as camadas emitindo cor. Quem disse isso, foi o Bohr.

Estudante 8: Os elétrons dos elementos químicos misturados com a pólvora são estimulados por causa do fogo do fósforo (calor). Se mudar o elemento, muda a cor.

Analisando os dois relatos acima transcritos, percebemos que os estudantes utilizaram além de suas ideias iniciais, os conhecimentos adquiridos durante a realização da segunda intervenção, já descrita na seção 5.2 deste trabalho, para responderem ao questionamento.

Conhecer as ideias iniciais dos alunos em relação à composição química dos fogos de artifício e sua relação com o átomo foi importante, pois além de apontar possíveis dificuldades nos auxiliou no desenvolvimento da atividade “algodão luminoso”.

### 5.3.2 Atividade experimental “algodão luminoso”

A atividade experimental, de caráter demonstrativo, foi desenvolvida no laboratório da escola, e teve por objetivo demonstrar através da emissão de luz em diferentes comprimentos de onda o salto eletrônico descrito pelo modelo atômico de Bohr, por meio da simulação do princípio de funcionamento dos fogos de artifício.

Para auxiliar no acompanhamento da atividade, distribuimos aos estudantes um roteiro (Apêndice 4) que, além de conter as etapas que seriam desenvolvidas durante o experimento,

apresentava um quadro. Os estudantes deveriam preencher esse quadro com suas observações e comentários, no decorrer da realização da atividade. A participação dos estudantes tanto como observadores quanto interlocutores, durante a realização do experimento foi muito importante, já que as diferentes cores apresentadas pela chama quando o algodão era submetido a ela, foi o ponto principal de nossa investigação. Para auxiliar os alunos a encontrarem possíveis justificativas para suas observações, eles foram orientados a utilizar livros didáticos e a internet como fonte de pesquisa, e a partir disso, escolher diferentes maneiras de expressar suas respostas e justificativas para o experimento.

Os estudantes utilizaram diferentes meios para expressar suas justificativas e soluções, como por exemplo, elaboração de textos, esquemas, desenhos, entre outros. O estudante 30, em seu esquema, apresenta um desenho acompanhado de um texto que demonstra além dos passos da atividade experimental, o salto do elétron (Figura 34).

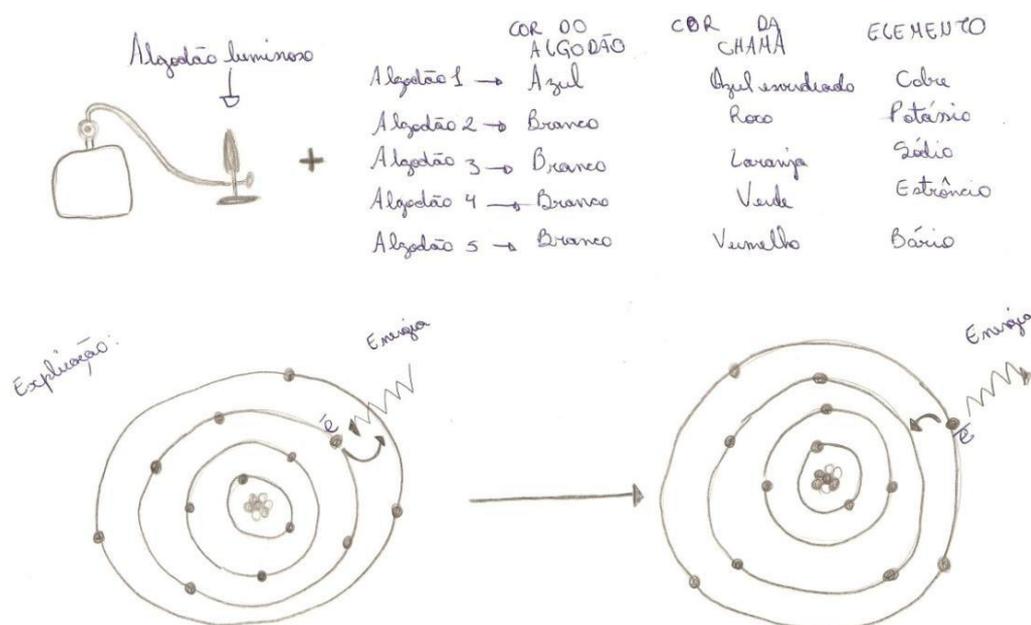


Figura 34 - Esquema elaborado pelo estudante 30.

Conforme o estudante 30, as diferentes cores apresentadas pelos algodões são justificadas pelo salto do elétron:

Estudante 30: [...] na minha pesquisa aprendi que as cores dos fogos de artifício são o resultado de diferentes elementos químicos, que tem seus elétrons excitados pelo calor e quando a “temperatura volta ao normal”, o elétron perde energia voltando para o seu estado natural. A experiência não foi feita com fogos de artifício, mas com algodões, e mesmo assim conseguimos ver as diferentes cores.

Analisando o texto produzido pelo estudante 1, constatamos a utilização de fontes de pesquisa para auxiliar na explicação da atividade experimental, devido a observação apresentada por ele mesmo no final de seu relato.

Estudante 1: A cor do algodão 1 pôde ser vista quando ele foi colocado em contato com a chama, a cor da chama ficou azul. Quando algum tipo de energia é fornecida a um determinado elemento químico, alguns elétrons da camada de valência absorvem energia passando para um nível de energia mais elevado e produzem o chamado estado excitado. Quando esses elétrons excitados regressam ao estado fundamental, emitem uma quantidade de energia radiante. Assim, a luz de um comprimento de onda particular (ou cor) é utilizada para identificar o referido elemento. Assim o elemento químico que deu origem à cor verde foi o cobre (Fiz e pesquisa em dois livros).

Os relatos dos estudantes evidenciam que as cores apresentadas pelos algodões são visualizadas quando estes são submetidos ao aquecimento da chama do bico de Bunsen, e que estas cores estão relacionadas com diferentes elementos químicos presentes na tabela periódica. Além disso, verificamos que os alunos compreendem que o resultado dos saltos quânticos dos elétrons de um metal é determinante para conferir a cor aos fogos de artifício. Esse comportamento demonstra que os estudantes abandonam a noção de que as cores dos fogos de artifício são resultados da presença de diversos corantes, adotando a ideia de que as cores na verdade, resultam de saltos eletrônicos.

Independente da forma escolhida para expressar a compreensão sobre a atividade experimental e a fonte de pesquisa empregada no desenvolvimento desse trabalho, verificamos que os alunos perceberam que o foco do experimento foi demonstrar que a explicação para as diferentes cores apresentadas pelos fogos de artifício está relacionada com os pressupostos de Bohr.

#### **5.4 Análise e discussão da intervenção “Desvendando as *lightsticks*”**

Durante esta intervenção, adotamos duas maneiras diferentes de trabalhar com as *lightsticks*: inicialmente, os estudantes atuaram como investigadores do funcionamento das

pulseiras, e em um segundo momento, demonstramos como o funcionamento das *lightsticks* está relacionado com o modelo atômico de Bohr. A partir da análise e interpretação dos resultados obtidos, as categorias que emergiram foram:

- O protagonismo dos estudantes na investigação do funcionamento das *lightsticks*;
- Separação cromatográfica e o modelo atômico de Bohr.

#### 5.4.1 O protagonismo dos estudantes na investigação do funcionamento das *lightsticks*

A experimentação como situação de descoberta da realidade, a partir da observação e de dados sensoriais contribui para que os estudantes busquem e confrontem informações, reconstruindo dessa forma, ideias e maneiras de explicar e resolver situações-problemas (BARATIERI et al., 2008). Neste sentido, partindo das ideias iniciais dos estudantes, obtidas nas intervenções anteriores, os alunos foram questionados sobre a composição química das pulseiras *lightsticks* e seu funcionamento. A resolução desses questionamentos foi realizada pelos estudantes através do estudo das pulseiras, conforme Figura 35.

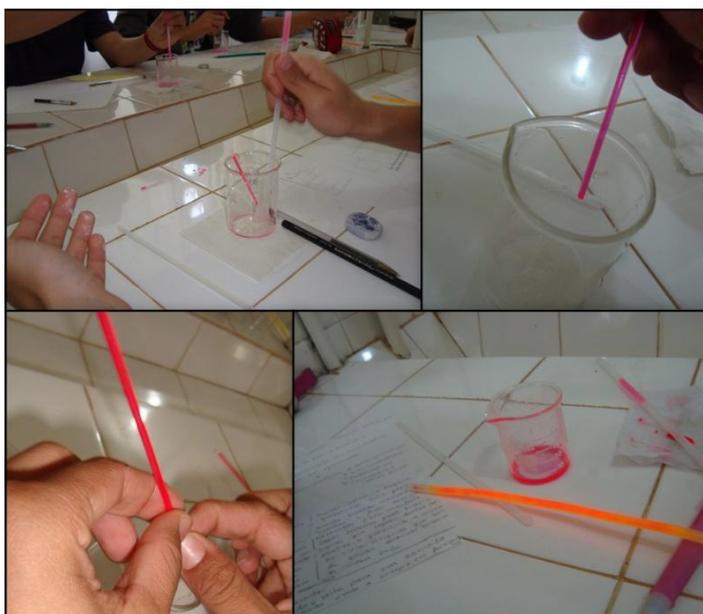


Figura 35 - Investigação das pulseiras *lightsticks* pelos estudantes.

Os relatos apresentados a seguir demonstram como se deu o processo de estudo das pulseiras pelos estudantes:

Estudante 2: Primeiro eu analisei a pulseira que é de plástico, e vi que o líquido de dentro dela é rosa. Percebi também que dentro dela tem algumas bolhas de ar e me parece que tem outro cano lá dentro. Peguei a pulseira, cortei uma pontinha com a ajuda do estilete para não “pegar” a ponta do cano que fica dentro. Bati na ponta (na extremidade da pulseira) que eu não cortei com o dedo para tirar o que tinha de dentro da pulseira. Percebi que de dentro saía um caninho de vidro que era rosa, coloquei ele dentro do béquer. Peguei o caninho e observei que o “neon” fica dentro do vidro. Depois eu quebrei o cano de vidro e coloquei o líquido rosa dentro do béquer e misturei com o líquido transparente que ficou dentro do cano de plástico. “Daí” o líquido começou a brilhar.

O estudante 2 descreve de maneira sucinta todas as etapas que realizou na investigação das *lightsticks*. Percebemos que sua ideia inicial em relação à presença de uma segunda ampola na pulseira foi confirmada quando ele decide cortar a ponta da pulseira e “bater” na extremidade oposta, para retirar a ampola interna. Na Figura 36, apresentamos o desenho feito pelo aluno para demonstrar sua investigação.



Figura 36 - Desenho esquemático elaborado pelo estudante 2.

O desenho e o depoimento escrito do estudante 2, evidenciam que além de supor que o líquido cor de rosa presente na ampola de vidro é “neon”, o “brilho” da pulseira só é observado quando ambos os líquidos são misturados no béquer. Essas declarações mostram que o estudante tem consciência, a partir de suas observações que a *lightstick* emite luz quando os líquidos presentes tanto na ampola de vidro quanto na ampola de plástico são misturados. Porém percebemos um erro conceitual quando o estudante sugere que o conteúdo rosa da pulseira é “neon”. Apontamos como possível justificativa para esse pensamento a

associação das pulseiras com os letreiros luminosos que contém o gás neônio. Devido a essa semelhança, as pulseiras *lightsticks* são comercializadas como “pulseiras neon”, influenciando na opinião do estudante.

Como já dito anteriormente cada estudante recebeu três pulseiras. Durante a análise do material obtido nesta etapa da intervenção percebemos que apenas um estudante relata as etapas realizadas com as três pulseiras.

Estudante 32: Eu ganhei três pulseiras e os passos que eu segui foram:

1º - Peguei primeiro a pulseira laranja e coloquei perto do ouvido e pressionei ela contra os dedos, ouvi um “estalinho”, que é o vidro da ampola sendo quebrado. Aí fui ver ela estava brilhando no lugar que eu tinha quebrado, então continuei apertando ela e o brilho aparecia;

2º - Pulseira rosa: cortei uma das pontinhas e a ampola de dentro quebrou em duas partes. Quando tirei a ampola ela “acendeu” e ficou com uma coloração mais forte. Depois bati para tirar o líquido que sobrou dentro do plástico, aí misturei os dois líquidos. A mistura começou a brilhar, então coloquei o béquer debaixo da bancada e vi que no escuro brilhava mais;

3º - A pulseira amarela eu “peguei” para mim, e coloquei no braço.

A redação do estudante aponta sua capacidade de organização de ideias para descrever as etapas realizadas durante a investigação das *lightsticks*. A primeira etapa descrita pelo estudante 32 demonstra sua iniciativa de investigação ao flexionar a pulseira, para ouvir se ela produziria algum som ao ser quebrada. Dessa ação, o estudante percebeu que no local no qual a ampola de vidro foi rompida, houve o início da emissão de luz pela *lightstick*. Destacamos também que o estudante utiliza a palavra “acendeu” para se referir ao início da emissão de luz, evidenciando que o mesmo ainda apresenta ideias equivocadas em relação ao funcionamento da pulseira. Ainda observamos que esta atividade, com as pulseiras *lightsticks* motiva os estudantes no estudo da Química, pois na terceira etapa o estudante 32 comenta que a pulseira amarela foi utilizada como um adereço em seu braço, após a utilização das outras duas nas etapas anteriores. Já a resposta do estudante 36, apesar de breve mostra que ele recorreu a conhecimentos que já possuía para investigar sobre a composição das pulseiras, ao associar o odor vindo da *lightstick* à água oxigenada.

Estudante 36: 1ª pulseirinha: ela é rosa e dentro dela há uma ampola e por fora um gel. Abri a pulseirinha e tirei a ampola de dentro, que é rosa. Parece que sem quebrar ela, há um brilho. O gel que ficou dentro da ampola de plástico tem cheiro de água oxigenada. Acabei de quebrar a ampola de vidro e estou despejando o conteúdo dela com o gel transparente com cheiro de água oxigenada dentro do béquer e misturei elas.

O protagonismo dos estudantes durante essa atividade nos proporcionou conhecer como eles organizam suas ideias e sistematizam as diferentes etapas desenvolvidas por cada um no processo de investigação da composição e funcionamento das *lightsticks*. Por meio da análise dos trinta e sete relatos obtidos, observamos que nenhum aluno faz menção à emissão de luz da pulseira como resultado de uma reação química, ou seja, do processo de quimiluminescência. Nesse sentido também não houve nenhum relato que citasse o modelo atômico de Bohr como possível explicação para o fenômeno.

#### 5.4.2 Separação cromatográfica e o modelo atômico de Bohr

Tendo em vista os questionamentos realizados e os resultados obtidos durante a atividade anterior, na qual nenhum estudante conseguiu relacionar o brilho emitido pelas *lightsticks* com o modelo de Bohr, desenvolvemos uma atividade experimental de caráter demonstrativo com os alunos. Essa atividade teve como objetivo demonstrar aos estudantes a relação entre o modelo atômico de Bohr e a emissão de luz das *lightsticks*, através da separação dos diversos componentes da pulseira ativada empregando uma coluna cromatográfica.

Durante o desenvolvimento desta atividade, percebemos que os estudantes estavam muito surpresos e curiosos a cada etapa desenvolvida pela pesquisadora, desde quando apresentamos a eles todo o material que seria utilizado para o desenvolvimento do experimento até o momento que reestabelecemos a emissão de luz misturando todos os componentes que haviam sido separados. No decorrer da realização do experimento, optamos por utilizar o quadro branco, presente no laboratório, para ilustrar e explicar o funcionamento das *lightsticks*, a partir do modelo atômico de Bohr, além do roteiro que eles já haviam recebido (Apêndice 5). Para avaliar essa atividade, foi solicitado aos estudantes que expressassem suas ideias por meio de desenhos ou esquemas.

O estudante 5, optou por expressar sua participação na atividade através de um esquema (Figura 37).

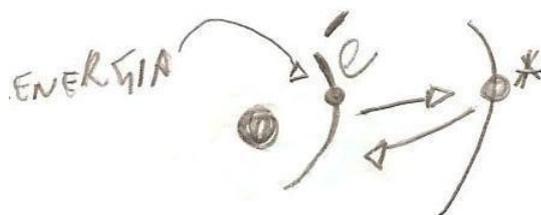


Figura 37 - Esquema elaborado pelo estudante 5 para a explicação da atividade experimental.

Além do desenho, o estudante também apresentou um pequeno texto:

Estudante 5: Nunca tinha parado pra pensar que as pulseiras de neon não tem neon e na verdade se chamam *lightsticks*, muito menos que a teoria de Bohr podia ter alguma relação com elas. Eu gostei de saber que é verdade que tem corante na pulseira, mas não sabia que tinha água oxigenada. Mas o que eu achei mais legal foi saber que no corante tem elétrons que são excitados por causa dos outros componentes e aí ocorre a luz. Podemos ver o brilho duas vezes: quando a professora (pesquisadora) quebrou a pulseirinha e no final da experiência quando ela juntou todos os líquidos de novo.

Já o estudante 19 preferiu descrever a atividade experimental e demonstrar a reação quimiluminescente utilizando um desenho esquemático do salto do elétron.

Estudante 19: Prestei atenção em tudo que a professora (pesquisadora) fez. Ela começou quebrando a pulseira bem devagar. Na mesa já estava preparado um suporte com uma bureta com um pó branco dentro que é sílica. A união da sílica com o solvente chamado hexano são os responsáveis por separar os componentes da pulseirinha. Assim que ela (pesquisadora) terminou de quebrar toda a pulseira, pegou um estilete e cortou uma das pontinhas. Com a ajuda de uma pipeta, tipo um conta-gotas, foi colocando as gotinhas na bureta. Percebi que assim que o líquido amarelo da pulseirinha ia descendo na bureta, diminuía o brilho. O líquido que saía da bureta era recolhido em vidrinhos numerados. Depois que parou de sair o líquido amarelo de dentro da bureta, a professora (pesquisadora) juntou eles num béquer e mostrou que não brilhava mais. Mas o brilho poderia voltar se juntasse ao líquido amarelo água oxigenada, bicarbonato de sódio e salicilato de sódio. Assim que a professora (pesquisadora) misturou tudo, o líquido voltou a brilhar, com uma cor bem parecida da inicial. Achei bem legal essa experiência, parece mágica ver a *lightstick* brilhar e depois parar e voltar a brilhar de novo. Mas eu aprendi que na verdade o processo pode ser explicado pela teoria do modelo de átomo de Bohr.

O desenho esquemático feito pelo estudante 19 para representar o salto eletrônico que ocorre na *lightstick* é apresentado na Figura 38:

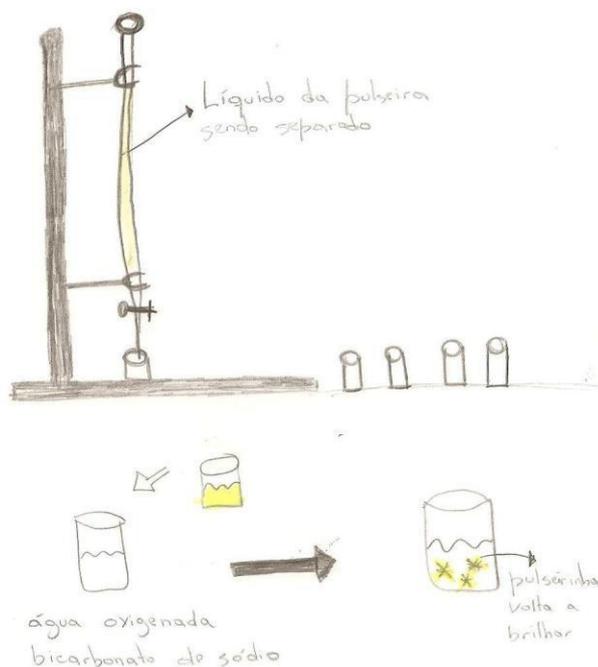


Figura 38 – Esquema elaborado pelo estudante 19.

Os relatos acima apresentados evidenciam que os estudantes começam a incorporar o vocabulário específico da Química, quando mencionam nomes de vidrarias e compostos químicos utilizados durante a realização da atividade experimental, conforme texto do estudante 19.

Percebemos também que há a substituição da denominação inicialmente dada as pulseiras (pulseiras de neon) pelo termo *lightstick*, essa mudança de comportamento pode ser encontrada no texto produzido pelo estudante 5. Em relação à estrutura da matéria, ambos os estudantes demonstraram surpresa ao serem informados que o funcionamento das *lightsticks* estava diretamente relacionado ao modelo de átomo proposto por Bohr. Outra observação que deve ser destacada é o trecho do texto elaborado pelo estudante 19, no qual destaca que o fenômeno de emissão de luz pela pulseira, resulta da excitação dos elétrons, presentes no corante, devido à presença de outros componentes. Percebemos que há uma mudança de pensamento, já que inicialmente o mesmo estudante afirmava que o principal componente das pulseiras era o neon.

Mesmo que inicialmente nenhum estudante tenha relacionado a emissão de luz pela pulseira com a teoria de Bohr, percebemos que após o desenvolvimento dessa atividade experimental, cada um expressou com suas palavras como conseguia fazer essa relação.

Sendo assim, é importante ressaltar o papel mediador do professor no processo de ensino e aprendizagem de assuntos que envolvam noções abstratas, como é o caso da estrutura da matéria. Acreditamos que trabalhar os conteúdos de maneira diferenciada na tentativa de aproximá-los do cotidiano dos estudantes pode auxiliar na construção do conhecimento de forma significativa.

### **5.5 Análise e discussão da intervenção “Ligando a luz: excitando os elétrons”**

Tendo em vista que a emissão de luz por diferentes materiais e objetos está relacionada ao modelo de Bohr, desenvolvemos essa atividade experimental para que os estudantes visualizassem os fenômenos de fluorescência e fosforescência. Após a realização do experimento, foi solicitado aos estudantes que produzissem um texto utilizando as palavras que estavam em um quadro, presente no roteiro (Apêndice 6) que haviam recebido no início da intervenção.

Para facilitar a discussão dos dados obtidos, elaboramos as seguintes categorias:

- Ideias dos alunos em relação à luz negra e ultravioleta;
- Produção de texto.

#### **5.5.1 Ideias dos alunos em relação à luz negra e ultravioleta.**

Antes da realização da atividade experimental, apresentamos aos alunos todo o material que seria utilizado no desenvolvimento do experimento, inclusive a lâmpada empregada para verificar a fluorescência de alguns objetos. Nessa ocasião, a lâmpada utilizada era do tipo ultravioleta e não a luz negra encontrada em festas. A partir desta informação, os estudantes foram questionados em relação ao emprego e a diferença existente entre os dois tipos de lâmpadas. Com base em seus conhecimentos, os alunos apontaram algumas diferenças entre as duas lâmpadas.

Em relação à luz negra, dezoito estudantes disseram conhecê-la das festas e baladas que costumam frequentar, porém nove alunos disseram não souberam expressar significado da expressão luz negra. Já sobre a luz ultravioleta, verificamos que vinte estudantes

relacionam esse tipo de radiação com a luz do sol, dois alunos citaram o bronzeamento artificial e apenas cinco disseram não saber. Porém, quatro estudantes alegaram que não há diferença entre as duas lâmpadas, dizendo que ambas são a “mesma coisa” e seis estudantes alegaram não possuir conhecimentos sobre o uso e a diferença entre ambas as luzes. Esses dados podem ser visualizados no Gráfico 14.

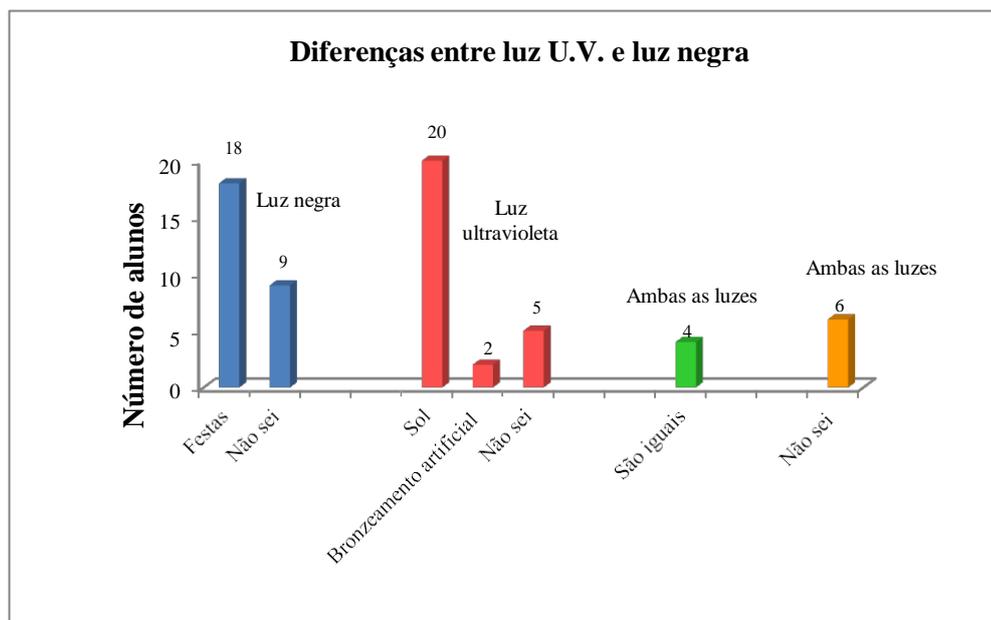


Gráfico 14 - Diferenças apontadas pelos estudantes em relação à luz negra e ultravioleta.

Alguns relatos dos estudantes comprovam nossas observações:

Estudante 1: A luz negra, é encontrada em festas, ela realça as roupas de cores mais claras como o branco, por exemplo, mas não sei dizer porque isso acontece. A luz ultravioleta tem relação com o sol.

Estudante 5: A luz negra e a ultravioleta são iguais, são encontrada em festas, e deixam as superfícies brancas com uma cor azul, meio roxa.

Estudante 15: Já tive experiência com a luz negra e minha roupa branca. A luz ultravioleta eu já ouvi falar, é a das camas do bronzeamento.

Estudante 37: Já ouvi falar, mas não sei nada sobre nem para que servem.

As respostas dadas pelos estudantes evidenciam que eles buscam associar o assunto em discussão, neste caso os dois tipos de lâmpadas, com situações já vivenciadas, na tentativa de justificar a resposta dada para o desafio apresentado.

### 5.5.2 produção de texto

A segunda parte da intervenção “Ligando a luz: excitando os elétrons” consistia na verificação da emissão de luz, por fluorescência ou fosforescência, de diversos materiais e soluções com o uso da lâmpada ultravioleta. Optamos por materiais que de uma forma ou outra estão presentes na vida dos alunos, na tentativa de aproximar suas vivências com os conceitos envolvidos no entendimento do modelo atômico de Bohr. Dessa forma, conforme Pazinato (2012, p. 97), “promover a contextualização pode auxiliar os estudantes na compreensão dos conteúdos curriculares dando significado ao conhecimento, permitindo-os à interpretação de fatos cotidianos por meio dos conceitos aprendidos na escola”.

A fim de contribuir para que essa atividade experimental auxilie os estudantes na compreensão dos conceitos químicos, pedimos a eles que produzissem um texto, após a participação na atividade, utilizando as seguintes palavras: absorção, átomo, Bohr, cor, elétron, energia, liberação, luz, molécula, salto e ultravioleta. Alguns textos produzidos pelos estudantes são apresentados abaixo:

Estudante 1: Vimos que, por exemplo, quando a água tônica entra em contato com a luz ultravioleta, os elétrons de um composto seu são excitados e ao retornarem para suas camadas de origem eles liberam energia na forma de luz, nesse caso a luz azul claro.

Estudante 5: Vimos que a cor do objeto muda quando observamos ele na luz branca (do sol e da lâmpada) e na luz ultravioleta. Isso se explica pela excitação dos elétrons dos materiais analisados devido a energia da luz.

Estudante 6: Quando foi colocado a solução da clorofila sob a luz ultravioleta vimos que ela “passou” de verde para vermelho. Isso pode ser explicado pelo modelo de Bohr por causa do salto do elétron. Só fiquei me perguntando uma coisa, como é que pode a teoria de Bohr ser tão antiga e servir ainda hoje para explicar as cores que vimos no experimento.

Estudante 8: Com essa atividade pude observar como as cores das “coisas” mudaram quando elas foram colocadas na luz ultravioleta, pensamos que é uma cor mas com o auxílio dela (luz ultravioleta) ficou bem diferente. Um exemplo que me chamou a atenção foi o jaleco da professora (pesquisadora), a mãe dela tinha lavado o jaleco com sabão em pó, que tem branqueador, por isso a gente enxergava um azul intenso quando a professora (pesquisadora) colocava a luz no jaleco.

Estudante 15: Durante a atividade eu aprendi a diferença entre as luzes negra e ultravioleta. Também aprendi que a cor “forte” do marca texto está relacionada com a fluorescência e o brilho do interruptor depois que a luz apaga é explicado pela fosforescência. Os dois casos estão relacionados com o modelo de Bohr, a diferença está no tempo que demora o brilho depois de apagar a luz.

Através dos relatos observamos que os estudantes utilizaram as palavras presentes no quadro para relatar suas observações do experimento. Eles ficaram surpresos ao ver que os objetos e soluções apresentavam mudanças de coloração quando submetidos à luz ultravioleta. O texto do estudante 6 nos faz refletir sobre a importância de discutir o papel da Ciência e a evolução dos conhecimentos científicos em sala de aula, como algo mutável que está constantemente sofrendo modificações. O caso da teoria de Bohr, apesar de ser divulgada para a comunidade científica no ano de 1913 e ser substituída por teorias mais atuais que expliquem a estrutura da matéria, ainda é empregada atualmente para descrever o comportamento de inúmeros fenômenos de nosso cotidiano.

Em relação ao emprego do vocabulário científico, o estudante 1, é o único que utiliza o termo camada para especificar o local no qual ocorre o salto do elétron. Outro ponto a ser destacado é que o estudante reconhece que os elétrons que são excitados pertencem a um composto da água tônica. Já o estudante 15 é mais específico em sua explicação, pois emprega os termos fluorescência e fosforescência para descrever o comportamento das canetas marca-texto e do interruptor de luz, respectivamente.

Elaborar comunicações orais ou escritas para relatar, analisar e sistematizar eventos, fenômenos, experimentos, questões, entre outros são competências que devem ser desenvolvidas nos estudantes na tentativa de torná-los capazes de interpretar diversas situações presentes em seu dia a dia (BRASIL, 2002). Neste sentido, os textos produzidos pelos estudantes nos proporcionaram verificar como eles relacionam os conceitos químicos com a atividade experimental desenvolvida. Essas relações são feitas a partir de suas observações e vivências, como forma de facilitar a aproximação do conceito que está sendo adquirido com o conceito pré-existente.

## **5.6 Análise e discussão da intervenção “Vamos construir?”**

Conforme as orientações presentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002), as competências gerais a serem desenvolvidas na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias estão relacionadas a três domínios: representação e comunicação; investigação e compreensão; e contextualização sociocultural. Partindo dessas orientações, a última intervenção desenvolvida na escola foi elaborada com o intuito de auxiliar os estudantes no desenvolvimento de competências relacionadas aos dois primeiros

domínios citados anteriormente. Em relação ao domínio representação e comunicação, nosso objetivo estava focado em questões envolvendo a leitura e interpretação de textos científicos abordando diferentes aspectos da evolução atômica. Já o segundo domínio, investigação e compreensão, objetivava: a identificação dos principais modelos de constituição da matéria criados ao longo do desenvolvimento científico; o reconhecimento das limitações desses modelos explicativos bem como a necessidade de alterá-los; e a elaboração de modelos macroscópicos e microscópicos para interpretar fenômenos e acontecimentos cotidianos.

Desta forma, a última intervenção desenvolvida na escola foi elaborada com o intuito de auxiliar os estudantes na compreensão, investigação e construção de modelos representativos e explicativos, tendo como foco a estrutura atômica. Segundo Souza e Justi (2012, p. 393) “o processo de ensino baseado em atividades de modelagem permite ao aluno aprender sobre a construção da Ciência, tendo em vista que uma das mais importantes atividades dos cientistas é construir, elaborar, testar e validar modelos”. Neste sentido, o grupo de estudantes deveriam construir dois modelos atômicos, os quais foram sorteados por um de seus componentes. Foi fornecido pela pesquisadora um guia com algumas informações relativas à evolução atômica e textos científicos. Todas as etapas desenvolvidas pelos grupos durante o processo de construção dos modelos deveriam constar no quadro presente no Apêndice 7.

A Figura 39 demonstra a atividade de modelagem, dos diferentes modelos atômicos, realizada pelos estudantes durante a intervenção.



Figura 39 - Atividade de modelagem realizada pelos estudantes.

A análise do material obtido durante a realização desta intervenção ocorreu em duas etapas, na primeira foi feita uma avaliação a partir da ficha preenchida contendo todos os passos da elaboração dos modelos e através da análise dos modelos representativos criados pelos estudantes. Já na segunda etapa, uma avaliação foi feita por meio da explanação dos grupos para os demais colegas.

Na Tabela 5, apresentamos a organização dos grupos, em relação a seus componentes e modelos a serem construídos.

Tabela 5 - Relação dos grupos, componentes e modelos a serem construídos.

<b>Grupo</b>	<b>Componentes</b>	<b>Modelos</b>
1	14, 16, 17, 20, 24, 35	Dalton e Bohr
2	3, 8, 15, 18, 23, 28, 32	Thomson e Bohr
3	2, 12, 13, 29, 34, 36	Rutherford e Bohr
4	4, 11, 25, 26, 27, 33	Dalton e Thomson
5	1, 6, 9, 30, 31, 37	Thomson e Rutherford
6	5, 7, 10, 19, 21, 22	Dalton e Rutherford

A seguir, discutiremos a atividade de modelagem desenvolvida por alguns destes grupos.

O grupo 1 ficou responsável pela construção dos modelos atômicos de Dalton e Bohr. Através da análise dos relatos desse grupo, percebemos que os integrantes descreveram as etapas desenvolvidas durante a elaboração de ambos os modelos. Os modelos elaborados pelo grupo 1 podem ser visualizados na Figura 40.



Figura 40 - Modelos de Dalton (40a) e Bohr (40b) elaborados pelo grupo 1.

Para o modelo atômico de Bohr (40b), o grupo 1 elaborou um pequeno texto contendo algumas informações sobre os estudos realizados por Bohr na construção de seu modelo e a participação do grupo na atividade de modelagem.

Grupo 1: O ponto principal do modelo atômico de Bohr está relacionado com o salto do elétron. Por isso, quando fizemos nosso modelo, demonstramos esse salto, em relação à absorção de energia por um elétron presente na camada mais próxima do núcleo. Essa atividade foi bem interessante, pois conseguimos “simular” como é o átomo para cada cientista. “Fazer” o modelo de Dalton não foi difícil, ele é bem simples. Agora, o outro (modelo) tivemos que pensar e tentar entender o que Bohr queria com ele. Não tivemos dificuldades para realizar a atividade, pois a professora (pesquisadora) forneceu muitos materiais. Mas o mais interessante foi mesmo tendo alguns textos para nos ajudar a construir os modelos, a gente teve que pensar muito em como fabricá-lo para tentar simular o modelo de Bohr.

Segundo Greca e Moreira (2002, p. 118) “o processo de modelagem pode ser entendido como um grupo de técnicas usadas pelos cientistas para o desenvolvimento de modelos [...], ou seu uso em diferentes situações”. Partindo dessa suposição, fica explícito na análise do trecho acima apresentado, que os estudantes durante o desenvolvimento da atividade de modelagem buscam conhecer as ideias que levaram Bohr a formular sua teoria, bem como qual o processo adotado pelo cientista para a elaboração de seu modelo. Outro ponto a ser destacado está relacionado com o uso da palavra “simular”, utilizada pelos alunos para se referir ao processo de elaboração do modelo e ao próprio modelo já construído.

Analisando os relatos e as etapas desenvolvidas para a construção dos modelos de Thomson e Bohr, percebemos que o grupo 2 ao receber a tarefa se reúne para decidir quais procedimentos e materiais seriam empregados na construção dos modelos. Isso pode ser evidenciado no trecho a seguir:

Grupo 2: Primeiro conversamos sobre as ideias que achamos que os cientistas tiveram para construir seus modelos. Então, ficou decidido o seguinte:

- Thomson: como o modelo é comparado a um “pudim de passas”, pensamos em representar o átomo como uma esfera positiva (maciça) por uma bolinha de isopor, que vamos pintar de amarelo. Posteriormente colocamos outras bolinhas menores de isopor (vamos pintar de azul), grudadas com alfinete, ao redor representando os elétrons negativos, tornando assim a carga do átomo nula.

- Bohr: pensamos em representar as camadas de 1 a 7, e seus respectivos números de elétrons, como Bohr apresenta em seu próprio modelo. Com isso, queremos mostrar que a eletrosfera é toda dividida. Então pegamos um disco de isopor para representar o átomo. Representamos o núcleo pela metade de uma bolinha de isopor vermelha e completamos o átomo desenhando as camadas com um pincel atômico preto (sem seus números de elétrons porque não deu espaço) e identificamos as sete camadas com números dourados.

Os passos descritos resultaram na construção dos modelos apresentados na Figura 41.



Figura 41 - Modelos de Thomson (41a) e Bohr (41b) elaborados pelo grupo 2.

Em relação ao modelo atômico de Thomson (41a) elaborado pelo grupo 2, percebemos que os estudantes tem noção de que a expressão “pudim de passas” é utilizada como uma analogia, sendo assim optaram por construí-lo na forma esférica e não na forma de um pudim. Essa constatação é muito importante, já que a maioria dos estudantes tem dificuldades em estabelecer uma analogia entre o “pudim de passas” e o modelo proposto por Thomson, como aponta a pesquisa realizada por Souza et al. (2006). Destacamos também a preocupação do grupo em “neutralizar as cargas” do átomo distribuindo as bolinhas de isopor menores ao redor da bola de isopor maior, demonstrando que esses alunos tem noção de que a estabilidade do átomo é atingida quando as cargas positivas e negativas se equilibram.

Analisando a modelagem realizada pelos estudantes e o trecho do relato relacionado ao modelo de Bohr (41b), evidenciamos que eles identificam o átomo como uma entidade que

apresenta a eletrosfera dividida em sete níveis eletrônicos, através dos enunciados criados por Bohr para seu modelo de átomo. Além disso, o grupo também tem conhecimento sobre o número de elétrons que cada camada comporta, porém devido à falta de espaço, não os representam em seu modelo.

A conclusão da atividade de modelagem do grupo 2 inicia com o seguinte questionamento “Por que existe mais de um modelo para o átomo?”. Esse questionamento é respondido pelo próprio grupo conforme as seguintes observações:

Grupo 2: Durante as muitas atividades realizadas pela professora (pesquisadora) podemos perceber que o átomo “sofreu” muitas modificações. Na verdade, a gente achava que ele sempre foi assim, mas foi aos poucos que os cientistas realizaram diversos estudos para se chegar ao modelo de átomo que conhecemos hoje. Não há modelo errado, eles só foram sendo substituídos por outros porque falharam na hora de explicar algum fenômeno. Nós sorteamos os modelos de Thomson e Bohr. Comparando um com o outro podemos perceber que a principal diferença entre eles está relacionada ao fato da eletrosfera ser formada por sete camadas, essa ideia nem se cogitava no modelo de Thomson, porém ele foi importante, por causa do elétron.

Esses aspectos levantados pelos estudantes no fechamento de seu trabalho corroboram com diversas pesquisas (JUSTI e GILBERT, 2000; RODRÍGUEZ e NIAZ, 2002) que apontam para a importância da abordagem de aspectos históricos, filosóficos e tecnológicos, no ensino de Ciências, na tentativa de contribuir para que os alunos compreendam como o conhecimento científico é construído.

O grupo 3, optou por representar a experiência de espalhamento de partículas alfa realizada por Rutherford, e o salto quântico do elétron descrito por Bohr em seu modelo (Figura 40).

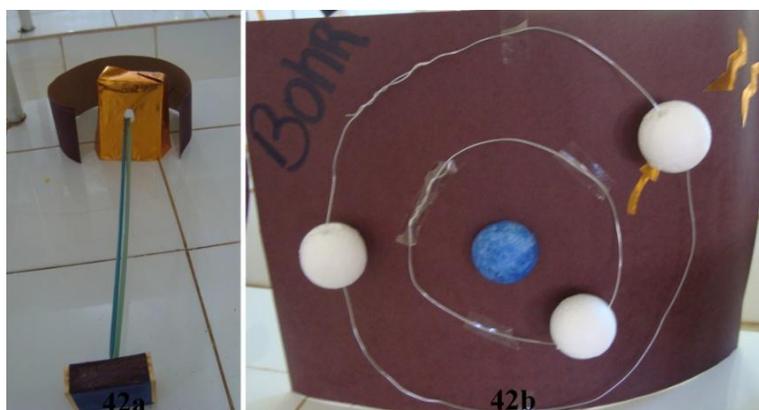


Figura 42 - Modelos de Rutherford (42a) e Bohr (42b) elaborados pelo grupo 3.

Observando a Figura 42, verificamos que os estudantes ao representarem a experiência realizada por Rutherford e seus colaboradores (42a), na tentativa de comprovar a existência de uma partícula positiva, não demonstram a trajetória das partículas alfa que sofrem desvio ao se chocarem com a lâmina de ouro. Apesar dessa falha durante a construção do modelo, percebemos que o grupo foi influenciado pelas imagens presentes no material colocado à disposição da turma. Essa constatação pode ser confirmada no trecho escrito pelos estudantes sobre a atividade.

Grupo 3: A gente não tinha muita noção de como fazer o modelo de Rutherford, então “pegamos” o livro que usamos sempre em sala de aula e copiamos o desenho da experiência de Rutherford. Essa experiência, conhecida como bombardeamento da folha de ouro por partículas alfa foi feita por ele (Rutherford) para mostrar aos outros cientistas que seu modelo era verdadeiro.

Além disso, o trecho evidencia a ideia que os estudantes possuem sobre a dependência obrigatória das teorias científicas e validação dos modelos propostos ao longo da Ciência, a partir de validações experimentais e posterior aceitação da comunidade científica (JUSTI, 2006).

Em relação ao modelo atômico de Bohr (42b), o grupo 3 representa em sua modelagem os elétrons presentes nos diferentes níveis eletrônicos, inicialmente em seus estados fundamentais. Porém, a presença de pequenos “raios” em um dos cantos da figura, indica a tentativa dos estudantes em representar a energia que pode ser absorvida e liberada pelos elétrons no átomo, resultando em saltos eletrônicos.

No ensino de Ciências, a capacidade de construir modelos envolve a criação de modelos mentais e ferramentas conceituais que podem ser compartilhados entre os estudantes. Esse dois aspectos podem ser utilizados para manipular, modificar, controlar, descrever ou explicar diferentes sistemas (LESH e DOERR, 2003 apud BODNER et al., 2005, p. 70) presentes em nosso cotidiano, dependendo da situação. Com base nessa afirmação e na análise do material obtido durante nosso estudo, percebemos que o texto produzido pelo grupo 4, atende alguns requisitos anteriormente citados.

Grupo 4: Assim que nosso grupo se reuniu, cada um pegou uma folha de papel e começou a desenhar e escrever sobre os modelos de Dalton e Thomson, partindo de suas ideias. Depois disso, a gente começou a discutir sobre as ideias de todos, para chegarmos a uma ideia única e partir “daí” construir os modelos. Durante a tarefa vimos que era fácil e prático construir os modelos, pois a professora (pesquisadora) trouxe o material “pra” gente usar, sem contar que cada um ajudando fica mais fácil ainda. Para o modelo de Dalton, lembramos das bolas de bilhar quando vamos jogar sinuca. Então pegamos uma bola de isopor e pintamos de verde. Já para o modelo de Thomson, tivemos que discutir mais sobre como montar esse modelo, pois cada um

de nós tinha uma ideia diferente. Decidimos montar o modelo com uma bola de isopor na cor amarela, nessa bola a gente escreveu com a caneta o sinal positivo, para indicar a carga da esfera. Pegamos bolas de isopor menores, cortamos elas ao meio, escrevemos nela a letra “e<sup>-</sup>”, para indicar o elétron e com a ajuda de alfinetes grudamos elas na bola maior. Olhando o modelo construído, podemos lembrar de quando vamos comer uma torta com cerejas.

Essa atividade foi bem legal e desafiante para todos nós, pois nos fez sentir como pesquisadores. Ficamos nos perguntando como será que os cientistas se viravam naquela época, será que pegavam objetos e tentavam simular o átomo? Ou faziam primeiro desenhos e depois testavam nos laboratórios? Bom, eles não estão mais aqui para nos dizer como faziam, mas a gente pode ler sobre o assunto e ficar imaginando.

Percebemos que a redação elaborada pelo grupo 4 apresenta muitos detalhes relevantes para uma discussão. O primeiro aspecto está relacionado à construção dos modelos por meio de discussões entre os membros do grupo, com base nas noções iniciais de cada estudante. Segundo Justi (2006), não há regra a ser seguida para a construção de modelos, este exercício resulta da combinação de diversos fatores como criatividade e habilidade, que devem ser estimulados pelos professores em suas aulas. O grupo também deixa explícito em seu relato a relação feita entre a bola de bilhar e a torta com cerejas e os modelos de Dalton e Thomson, respectivamente. Tais expressões, mais conhecidas como analogias, são utilizadas com o objetivo de auxiliar na compreensão de diversos fenômenos que fazem parte de nosso cotidiano, a partir de conhecimentos que já possuímos (DRIVER, 1986).

O texto deixa clara a noção de organização que o grupo apresenta, ou seja, à medida que os estudantes discutem e organizam suas ideias, a construção dos dois modelos começa a ser estabelecida. Após essas etapas, eles partem em busca de possíveis comparações que podem ser feitas entre os modelos a serem elaborados com objetos que fazem parte do cotidiano deles. O discurso do grupo 4 é finalizado com algumas indagações que os estudantes fazem na tentativa de compreender como o processo de construção de modelos era realizado pelos cientistas. Essas inquietações, relacionadas à aprendizagem de conceitos científicos que incluem aspectos históricos e filosóficos, devem ser consideradas pelos professores de Química, e conseqüentemente incorporadas em suas práticas (ADÚRIZ-BRAVO et al., 2002). Além disso, conforme o relato dos próprios estudantes, recorrer a materiais como livros didáticos e textos científicos ainda é a melhor opção para se obter informações relacionadas a evolução atômica. Todos esses pontos evidenciam a importância de se refletir sobre os materiais didáticos disponíveis, utilizados por professores e alunos.

Na Figura 43, apresentamos os modelos elaborados pelo grupo 4 durante a atividade de modelagem.



Figura 43 - Modelos de Dalton (43a) e Thomson (43b) elaborados pelo grupo 4.

Após a realização da atividade pelos grupos, a turma iniciou uma discussão sobre os modelos construídos. Nessa discussão, diversos aspectos foram abordados, inicialmente cada grupo apresentou seu modelo, indicando como o processo de construção do mesmo ocorreu e para qual situação ou fenômeno esse modelo havia sido construído ou substituído. A participação da turma foi bastante significativa, uma vez que todos os estudantes de uma forma ou outra expressaram suas opiniões sobre o assunto.

O desenvolvimento da atividade de modelagem nos possibilitou conhecer as ideias apresentadas pelos estudantes em relação ao processo de construção dos diferentes modelos de átomo. Essas ideias são muito importantes já que podem indicar as noções e as dificuldades que os estudantes apresentam a respeito dos conceitos químicos envolvidos no entendimento da estrutura da matéria. Outro fator relevante proporcionado por este tipo de atividade está relacionado à identificação de quais modelos atômicos podem ser adotados pelos estudantes na representação dos fenômenos de seu cotidiano.

### **5.7 Análise e discussão da intervenção “Encerramento das atividades”**

Inúmeras foram as opiniões e comentários elaborados pelos estudantes sobre sua participação neste trabalho, após um período de aproximadamente três meses. Analisando os relatos, fica evidente a satisfação da turma em participar desta pesquisa, conforme alguns textos apresentados a seguir:

Estudante 4: Eu simplesmente adorei todas as aulas. A professora (pesquisadora) nos possibilitou aproximar a teoria com nosso dia a dia. Só tenho a agradecer a professora (pesquisadora) pelas aulas diversificadas, não queria que acabassem.

Estudante 8: Eu gostei de tudo. A cada aula me surpreendia mais. Adorei ver os fogos de artifício na forma de algodõeszinhos, as pulseiras *lightsticks*, a fluorescência e a fosforescência. Tudo muito mágico, com a explicação da Química. Minha sugestão é que a escola deveria ter mais trabalhos assim e em todas as disciplinas. Parabéns para a professora (pesquisadora), ótimo trabalho, vou sentir muita falta dela.

Estudante 13: No início, eu achei meio estranho ter duas professoras de Química, uma “dando” a teoria e a outra a prática. Mas logo depois eu entendi qual era o objetivo do trabalho. Durante esses três meses participamos de muitas atividades experimentais, eu achei muito legal a forma como a professora (pesquisadora) apresentava a teoria, não era tão chato como em sala de aula.

Estudante 21: Sinceramente eu esperava ansiosamente para que o dia da aula no laboratório chegasse, pois sabia que as aulas seriam diferentes daquelas que a gente estava acostumada a ter. Essas aulas fizeram com que eu conseguisse relacionar melhor o conteúdo de modelos com as coisas ao meu redor. Outra coisa que eu gostei foi ver que a professora realizou vários experimentos todos eles relacionados com o modelo atômico de Bohr.

Estudante 36: Percebi que é possível entender a Química através de experiências, mesmo se tratando do átomo. Achei que como a gente não consegue ver ele não teria alguma experiência que pudesse ser feita para mostrar os fenômenos que ele explica.

Pelos relatos dos estudantes percebemos que as diferentes intervenções desenvolvidas durante essa pesquisa possibilitaram a eles relacionar os conceitos químicos aprendidos em sala de aula com os fenômenos presentes em seu cotidiano. Além disso, auxiliaram para que eles a partir de suas observações, discussões, interpretações e ideias formulassem suas próprias relações entre o macroscópico e o microscópico.

Essas implicações são importantes para que os educadores repensem sua forma de trabalhar em sala de aula, proporcionando aos estudantes aulas diferenciadas na tentativa de que estes consigam identificar e relacionar a Química como parte integrante de sua vida.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada nesta dissertação partiu do estudo de um tema específico, ou seja, o modelo atômico de Bohr. Com base neste tema e de acordo com os pressupostos de uma pesquisa qualitativa, nosso estudo teve como foco principal desenvolver diferentes atividades experimentais e de modelagem na tentativa de auxiliar os estudantes na construção, visualização e aplicação dos conhecimentos que envolvem a teoria atômica, em específico o modelo atômico de Bohr. Para que isso aconteça, é necessária a elaboração e inserção de estratégias de ensino que envolvam o assunto em estudo e, principalmente, leve em consideração as ideias iniciais apresentadas pelos estudantes. Além disso, é importante que essas ideias estejam em sintonia com as novas informações obtidas na tentativa de contribuir para a compreensão e visualização de entidades macroscópicas e microscópicas, envolvidas no entendimento do estudo da estrutura da matéria.

Todo esse processo deve ser feito pelo professor que é o responsável por oportunizar espaços, em sala de aula, para que os estudantes externalizem suas compreensões, possibilitando dessa forma, ao professor a verificação da evolução de ideias e a identificação da aquisição de novos conhecimentos. Levando em consideração que as ideias iniciais apresentadas pelos estudantes são distintas e que o processo de construção das mesmas ocorre de maneira pessoal, precisamos enquanto educadores utilizar diferentes alternativas de ensino para que a aprendizagem seja efetiva no sentido de que todos desenvolvam as mesmas competências e habilidades (HALLOUN, 2004).

Considerando essas constatações relevantes para o ensino de Ciências, desenvolvemos a presente pesquisa em uma turma da primeira série do ensino médio de uma escola pública do município de Júlio de Castilhos – RS. Durante as intervenções realizadas na escola, os conceitos referentes ao conteúdo de estrutura atômica, em específico o modelo atômico de Bohr, foram abordados através de atividades experimentais e de modelagem. Essa abordagem foi feita com o intuito de proporcionar aos estudantes diferentes formas de visualização e aplicação dos conhecimentos envolvidos na teoria de Bohr em fatos de seu dia a dia.

Para a compreensão do comportamento da matéria, é necessário que os estudantes sejam capazes de transitar entre os três níveis de representações descritos por Johnstone (1992) – macroscópico, microscópico e simbólico. Conhecer e dominar esses níveis é essencial para que os estudantes entendam a natureza e interpretem seus fenômenos. Sabendo

que o emprego de imagens no ensino pode favorecer a compreensão desses três níveis e suas relações, analisamos as representações visuais presentes nos cinco livros didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2012 na abordagem do conteúdo de modelos atômicos, na tentativa de compreender sua influência na aprendizagem desse conteúdo. A partir das categorias utilizadas para a análise, evidenciamos que os LD apresentam uma diversidade na maneira como as imagens são empregadas. Dentre essas, destacamos que não há uniformidade na ênfase que os livros dão aos diferentes modelos de átomo, sendo que alguns LD sequer contemplam os primeiros estudos sobre o átomo bem como os modelos atuais, demonstrando que uma grande maioria dos LD apresenta uma lacuna em relação à construção do conhecimento científico ao longo da história da Ciência. De maneira geral, as imagens são utilizadas para auxiliar no estabelecimento de relações entre a teoria e a prática no processo de imaginar os fenômenos químicos. Portanto é necessário que os professores recorram a vários recursos para o preparo de suas aulas, já que os recursos visuais presentes nos LD influenciam na construção do conhecimento científico dos estudantes.

Outro fator importante avaliado em nossa pesquisa foi as concepções que os estudantes apresentam em relação à estrutura atômica. A partir desse estudo foi possível conhecer as inúmeras ideias que os estudantes apresentam sobre esse assunto, além de revelar algumas dificuldades. Porém, apesar de os estudantes terem noções sobre o átomo percebemos que muitos deles não conseguem identificar a relação existente entre essa entidade com fatos de seu cotidiano. Esses dados aliados aos demais, obtidos neste trabalho, contribuíram para que desenvolvêssemos atividades experimentais e de modelagem na tentativa de promover a aprendizagem do modelo atômico de Bohr.

Em relação às atividades experimentais, Cachapuz, Praia e Jorge (2004) afirmam que ainda há alunos que atravessam a escolaridade obrigatória sem terem tido a oportunidade de participar ou realizar uma única experiência. Apesar de esta afirmação ter sido feita há algum tempo, verificamos que ainda hoje esse mesmo cenário persiste. Inúmeras são as justificativas para o não desenvolvimento dessas atividades, no entanto, o que se percebe no atual do ensino de Ciências é a busca dos educadores por alternativas e atividades que possam ser utilizadas como meio de campo entre os conceitos químicos e o cotidiano. Visando contribuir para a mudança do ensino, em nosso trabalho desenvolvemos quatro atividades experimentais, que corresponderam a um total de três intervenções. As atividades desenvolvidas, além de possibilitarem a contextualização da teoria atômica proposta por Bohr, visaram desenvolver nos estudantes diferentes habilidades, como a capacidade de observação, investigação, formulação de possíveis resultados e a capacidade de compreender e transitar entre os três

níveis de representação. Essas atividades foram desenvolvidas de forma demonstrativa e investigativa. A primeira teve por objetivo desenvolver nos estudantes a capacidade de observação, e a segunda, o caráter investigativo e de organização dos estudantes. A fim de avaliar a contribuição das atividades desenvolvidas no ensino do modelo atômico de Bohr, os resultados obtidos a partir de textos, exercícios, relatórios, desenhos, esquemas, entre outros, elaborados pelos estudantes, foram analisados. Os dados nos permitem concluir que aliar conceitos químicos com atividades experimentais contribui para a que os estudantes consigam identificar as relações existentes entre a Química e os fenômenos de seu cotidiano, além de proporcionar o entendimento da estrutura da matéria.

A atividade correspondente a elaboração de modelos teve como elemento central o protagonismo dos estudantes. Empregar atividades de modelagem no ensino de Química possibilita ao estudante aprender sobre a construção da Ciência, uma vez que o foco do trabalho está relacionado ao processo de construção, elaboração, teste e validação de seus modelos. Durante a atividade “Vamos construir?” procuramos centrar o estudante na criação de modelos, com base naqueles já desenvolvidos pelos cientistas na busca de explicações para o comportamento da matéria. Percebemos que para a elaboração dos modelos concretos, os grupos partiram de construtos mentais que cada um dos estudantes possuía. Essa tendência evidencia que para a construção de uma entidade abstrata e microscópica como o átomo, é necessário recorrer àquilo que já se conhece, isso geralmente é feito mentalmente. No decorrer dessa atividade, constatamos que os grupos se organizaram de formas diferentes na tentativa de entrarem em consenso para a construção de seus modelos. Porém, podemos afirmar que a característica comum a todos os grupos está relacionada ao fato de que todos eles recorrem a ideias anteriores e à imaginação na tentativa de explicitar e construir um novo modelo.

A atividade de modelagem permitiu conhecer como os alunos imaginam ser determinados modelos de átomo, influenciados pelos conhecimentos que possuem ou ainda pelo material que foi disponibilizado durante a realização da atividade. Acreditamos que atividades com esse objetivo auxiliam no processo de aprendizagem, uma vez que permite aos estudantes a visualização de entidades abstratas por meio da elaboração de estruturas macroscópicas.

Com base em todos os dados apresentados e discutidos nesta dissertação, conforme sugere Justi (2006, p. 182, tradução nossa) “se considerarmos a aprendizagem como um enriquecimento da estrutura cognitiva e emocional do indivíduo, podemos então concluir, levando em consideração os resultados que dispomos que as estratégias de ensino que temos

foram propostas contribuíram para a aprendizagem dos alunos nas intervenções investigadas”. Sendo assim, podemos afirmar que as atividades experimentais e de modelagem para a abordagem do modelo atômico de Bohr se mostraram válidas como estratégias que auxiliam na construção do conhecimento químico dos estudantes. E, principalmente contribuíram para que os estudantes fossem capazes de compreender e explicar fatos de seu cotidiano, relacionados ao modelo atômico de Bohr, com base na capacidade de transição entre os três níveis de representação da matéria.

Acreditamos que as atividades desenvolvidas nessa dissertação possam ser utilizadas como alternativas didáticas para a abordagem do modelo atômico de Bohr, contribuindo desta forma para o ensino de Química. Para isso é necessário que o desafio de promover a contextualização dos conceitos químicos envolvidos no estudo do átomo, a partir de aspectos que fazem parte do cotidiano dos alunos, seja assumido por nós educadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M. C. B. (2006a). **Bohr: o arquiteto do átomo**. 2. ed. São Paulo: Odysseus, 2006a.

ABDALLA, M. C. B. (2006b). **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: UNESP, 2006b.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M.; ESTANY, A. Uma propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciência em formación. **Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 20, n. 3, p. 465-476, 2002.

ARAÚJO, U. F. **Temas transversais e a estratégia de projetos**. São Paulo: Moderna, 2003.

ARRUDA, S. de M.; LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de Ciências. In: NARDI, R. (Org.). **Questões atuais no ensino de Ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 1998. p.53-60.

ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. **A didática das Ciências**. 15. ed. Tradução Magda S. S. Fonseca. Campinas: Papirus, 2011.

ATKINS, P. W. **Moléculas**. Tradução Paulo Sérgio Santos et al. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

\_\_\_\_\_.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3. ed. Tradução Ricardo Bicca de Alencastro. Porto Alegre: Bookman, 2006.

\_\_\_\_\_. **Físico-Química**. Vol. 1. 8. ed. Tradução Edilson Clemente da Silva et al. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BACHELARD, G. **La formation de l'esprit scientifique**. 5 ed. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1967.

BAIRD, C. **Chemistry in your life**. 2. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2006.

BARATIERI, S. M.; BASSO, N. R. S.; BORGES, R. M. R.; ROCHA FILHO, J. B. Opinião dos estudantes sobre a experimentação em Química no ensino médio. **Revista Experiência em Ensino de Ciências**. Cuiabá, vol. 3, n. 3, p. 19-31, dez. 2008.

BARTHEM, R. **A luz**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

BARTOLONI, F. H. et al. Luz: um raro produto de reação. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 34, n. 3, p. 544-554, abr. 2011.

BEISER, A. **Conceitos de Física Moderna**. Tradução Gita K. Ghinzberg. São Paulo: Polígono, 1969.

BEN-DOV, Y. **Convite à Física**. Tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996.

BERNARDO, L. M. **Histórias da luz e das cores: lenda, superstição, magia, história, ciência e técnica**. Vol. 2. 1. ed. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2007.

\_\_\_\_\_. **Histórias da luz e das cores: lenda, superstição, magia, história, ciência e técnica**. Vol. 1. 2. ed. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2009.

\_\_\_\_\_. **Histórias da luz e das cores: lenda, superstição, magia, história, ciência e técnica**. Vol. 3. 1. ed. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2010.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Introdução à Química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1989.

BODNER, G. M.; GARDNER, D. E.; BRIGGS, M. W. Models and modeling. In: PIENTA, N.; COOPER, M.; GREENBOWE, T. (Ed.). **Chemists' guide to effective teaching**. New York: Pearson Prentice – Hall, 2005.

BOHR, N. H. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. 4. ed. Tradução Egidio Namorado. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

BOHR, N. H.; KRAMERS, H. A.; SLATER, J. C. The quantum of theory of radiation. **Philosophical Magazine**. Série 6, vol. 47, n. 281, p. 785-802, 1924.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Ensino Básico. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretária de Ensino Básico. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Orientações Curriculares para o Ensino Médio. V. 2. Brasília, 2006.

BRASLAVSKY, S. E. et al. Glossary of terms used in photochemistry - 3rd. **Pure and Applied Chemistry.** Research Triangle Park, vol. 79, n. 4, p. 293-465, 2007.

BRENNAM, R. **Gigantes da Física: uma história da Física Moderna através de oito biografias.** Tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

BRILL, T. B. Why objects appear as they do. **Journal of Chemical Education.** Washington, vol. 57, n. 4, p. 259-263, apr. 1980.

BROGLIE, L. de. The wave nature of the electron. **Nobelprize.org**, Stockholm, 1929. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1929/broglie-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1929/broglie-lecture.pdf)>. Acesso em 16 jul. 2012.

BRUCE, P. Y. **Química Orgânica.** Vol. 1. 4. ed. Tradução Débora Omena Futuro et al. São Paulo: Pearson Prentice – Hall, 2006.

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; JORGE, M. Da educação em Ciência às orientações para o ensino das Ciências: um repensar epistemológico. **Revista Ciência & Educação.** Bauru, v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.

CALAIS, S. L. Delineamento de levantamento ou *survey*. In: BAPTISTA, M. N.; CAMPOS, D. C. de. (Coord.). **Metodologias de pesquisa em Ciências: análise quantitativa e qualitativa.** Rio de Janeiro: LTC, 2007. p. 81-89.

CARMO, M. P. do; MARCONDES, M. E. R. Abordando soluções em sala de aula: uma experiência de ensino a partir das ideias dos alunos. **Revista Química Nova.** São Paulo, n. 28, p. 37-41, maio 2008.

CARMONA, A. G. La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. **Revista Educación Química.** Cidade do México, v. 4, n. 17, p. 414-422, 2006.

CARRASCOSA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A.; VALDÉS, P. Papel de la actividad experimental em la educación científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, vol. 23, n. 2, p. 157-181, ago. 2006.

CARUSO, F.; OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico de aos quarks e léptons. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 20, n. 3, p. 324-334, maio/jun. 1997.

CÁSSIO, F. L.; CORDEIRO, D. S.; CORIO, P.; FERNANDEZ, C. O protagonismo subestimado dos íons nas transformações químicas em solução por livros didáticos e estudantes de Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 11, n. 3, p. 595-619, 2012.

CHADWICK, J. The nêutron and its properties. **Nobelprize.org**, Stockholm, 1935. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1935/chadwick-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1935/chadwick-lecture.pdf)>. Acesso em 16 jul. 2012.

CHASSOT, A. **A Ciência através dos tempos**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.

CHESTER, M. **Partículas**: introdução à Física de partículas. Tradução Sérgio Augusto Teixeira. Rio de Janeiro: Artenova, 1979.

CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D. F. The modeling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. **Chemistry Education: Research and Practices**. Cambridge England, vol. 8, n. 3, p. 274-292, 2007.

CLAYDEN, J.; GREEVES, N.; WARREN, S. **Organic Chemistry**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2012.

CLEMENT, J. Learning via construction and criticism. In: GLOVER, J. A.; RONNING, R. R.; REYNOLDS, C. R. (Ed.). **Handbook of creativity**: assessment, theory and research. New York: Plenum, 1989.

COULTATE, T. P. **Alimentos**: a Química de seus componentes. Tradução Jeverson Frazzon et al. Porto Alegre: Artmed, 2004.

COUTINHO, F. A.; SOARES, A. G.; BRAGA, S. A. M.; CHAVES, A. C. L.; COSTA, F. J. Análise do valor didático de imagens presentes em livros de Biologia para o ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. São Paulo, vol. 10, n. 3, 2010.

CREASE, R. P. **Os dez mais belos experimentos científicos**. Tradução Maria Inês Duque Estrada. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

DEBUS, A. G. The relationship of science-history to the history of science. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 48, n. 12, p. 804-805, dec. 1971.

DE LA FUENTE, A. M.; PERROTA, M. T.; DIMA, G.; GUTIÉRREZ, E. E.; CAPUANO, V. C.; FOLLARI, B. R. Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB). **Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 21, n. 1, p. 123-134, jan. 2003.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. A. **Metodologia do Ensino de Ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2009.

DEWDNEY, A. K. **20.000 léguas matemáticas: um passeio pelo misterioso mundo dos números**. Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000.

DRIVER, R. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. **Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 4, n. 1, p. 3-15, 1986.

ECHEVERRÍA, A. R.; MELLO, I. C. de; GAUCHE, R. Livro didático: análise e utilização no ensino de Química. In: SANTOS, W. L. P. dos; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010. p. 263-286.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Tradução Paulo Costa et al. Rio de Janeiro: Campus, 1985.

FARIAS, R. F. de. **Para gostar de ler a história da Química II**. Vol. 2. Campinas: Átomo, 2007.

\_\_\_\_\_. **Para gostar de ler a história da Química III**. Vol. 3. 2. ed. Campinas: Átomo, 2008.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligação química. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 24, p. 20-24, nov. 2006.

FERREIRA, P. F. M. **Modelagem e suas contribuições para o ensino de Ciências: uma análise no estudo de equilíbrio químico.** 2006. 155 p. Dissertação (Mestrado em Educação– Linha de pesquisa: Espaços educativos, produção e apropriação de conhecimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o “fazer Ciência”. **Revista Química Nova na Escola.** São Paulo, n. 28, p. 32-36, maio 2008.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa.** 5. ed. Curitiba: Positivo, 2010.

FIGUEIREDO, W. G. **Limitações da analogia entre sistemas planetários e modelos atômicos.** 2008. 124 p. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

FONSECA, M. R. M. **Química: meio ambiente, cidadania, tecnologia.** 1. ed. São Paulo: FTD Editora, 2010.

FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. do. Estrutura atômica e formação de íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. **Revista Química Nova na Escola.** São Paulo, vol. 31, n. 4, p. 275-282, nov. 2009.

FRANKLIN, A. Millikan's oil-drop experiments. **The Chemical Educator.** New York, vol. 2, n. 1, p. 1-14, apr. 1997.

GALIAZZI, M. C.; OLIVEIRA, L. R.; MONCKS, M. D.; GONÇALVES, M. G. V. Perfis conceituais sobre o átomo. **Anais eletrônicos do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências.** Águas de Lindóia, São Paulo, 1997.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. Avaliação dos estudantes sobre o uso de imagens como recurso auxiliar no ensino de conceitos químicos. **Química Nova na Escola.** São Paulo, vol. 35, n. 1, p. 19-26, fev. 2013.

\_\_\_\_\_.; KIILL, K. B.; FERREIRA, L. H. Categorização das imagens referentes ao tema equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.** Vigo, vol. 8, n. 2, p. 711-721, 2009.

GIL-PEREZ, D.; MACEDO, B.; TORREGROSA, J. M.; SIFREDO, C.; VALDÉS, P.; VILCHES, A. ¿Cómo promover El interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. In: **Década de la**

**Educación para el desarrollo sostenible.** UNESCO (Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe), 2005.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; ELMER, R. Positioning models in science education and in design and technology education. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Ed.). **Developing Models in Science Education.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de Ciências. **Revista Química Nova na Escola.** São Paulo, n. 10, p. 43-49, nov. 1999.

GLEISER, M. **A dança do universo:** dos mitos de Criação ao Big Bang. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

GOLDBERG, M. C.; WEINER, E. R. The Science of luminescence. In: GOLDBERG, M. C. (Org.). **Luminescence Applications.** Symposium series 383. Washington: American Chemical Society, 1989.

GOMES, H. P. J.; OLIVEIRA, O. B. de. Obstáculos epistemológicos no ensino de Ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Revista Ciências & Cognição.** Rio de Janeiro, n. 12, p. 96-109, nov. 2007.

GÓMEZ, Á. I. P. Competências ou pensamento prático? A construção dos significados de representação e de ação. In: SACRISTÁN, J. G. **Educar por competências:** O que há de novo? Tradução Carlos Henrique Lucas Lima. Porto Alegre: Artmed, 2011.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Mental models, conceptual models and modelling. **International Journal of Science Education.** [S.l.], vol. 22, n. 1, p. 1-11, 2000.

\_\_\_\_\_. Mental, physical and mathematical models in the teaching and learning of Physics. **Science Education.** [S.l.], vol. 86, n. 1, p. 1-11, jan. 2002.

GUIMARÃES, L. **A cor como informação:** a construção biofísica, linguística e cultural da simbologia das cores. 3 ed. São Paulo: Annablume, 2004.

NATHER, H. Pesquisa qualitativa *versus* pesquisa quantitativa: esta é a questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa.** Brasília, vol. 22, n. 2, p. 201-210, maio-ago. 2006.

GUTIÉRREZ, E. E.; CAPUANO, V. C.; PERROTA, M. T.; DE LA FUENTE, A. M.; FOLLARI, B. R. ¿Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? **Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 18, n. 2, p. 247-254, maio 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. Vol. 4. 8. ed. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLOUN, I. A. **Modeling theory in Science Education**. Dordrecht: Springer, 2004.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 6. ed. Tradução José Alberto Portela Bonapace et al. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

HARVEY, E. N. **A history of luminescence from the earliest times until 1900**. Philadelphia: The American Philosophical Society, 1957.

HEISENBERG, W. The development of quantum mechanics. **Nobelprize.org**, Stockholm, 1933. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1932/heisenberg-lecture.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1932/heisenberg-lecture.pdf)>. Acesso em 17 jul. 2012.

HENDRICKSON, J. B.; CRAM, D. J.; HAMMOND, G. S. **Organic Chemistry**. 3. ed. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, 1970.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Tradução Watson Pontes Carpes. 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

JOESTEN, M. D.; WOOD, J. L. **World of Chemistry**. 2. ed. Orlando: Saunders College Publishing, 1996.

JOHNSON, A. W. **Invitation to organic chemistry**. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers, 1999.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness**. Cambridge: Harvard University Press, 1983.

JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching: a changing response to changing demand. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 70, n. 9, p. 701-705, sep. 1993.

JUSTER, N. J. Color and chemical constitution. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 39, n. 11, p. 596-601, nov. 1962.

JUSTI, R. S. La enseñanza de Ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, vol. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.

\_\_\_\_\_. (2010a). Las concepciones de modelo de los alumnos, La construcción de modelos y el aprendizaje de las Ciencias. In: CAAMAÑO, A. (Coord.). **Didáctica de la Física y Química**. Vol. 2. Barcelona: Graó, 2010a.

\_\_\_\_\_. (2010b). Modelos e modelagem no ensino de Química: um olhar sobre os aspectos essenciais pouco discutidos. In: SANTOS, W. L. P. dos; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010b. p. 209-230.

\_\_\_\_\_; GILBERT, J. History and Philosophy of Science through models: some challenges in the case of “the atom”. **International Journal of Science Education**. [S.l.], vol. 22, p. 993-1009, 2000.

KARP, G. **Biologia celular e molecular**: conceitos e experimentos. Tradução Maria Dalva Cesario et al. Barueri: Manole, 2005.

KIILL, K. B. **Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico**. 2009. 278 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

KIOURANIS, N. M. M.; SOUZA, A. R. de; SANTIN FILHO, O. Experimentos mentais e suas potencialidades didáticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. [S. l.], vol. 32, n. 2, p. 1507(1)-1507(10), mar. 2010.

KRAGH, H. The first subatomic explanations of the periodic system. **Foundations of Chemistry**. Netherlands, vol.3, n. 2, p. 129-143, may 2001.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. Modelo: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, vol. 2, n. 3, p. 185-205, set. 1997.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed. Tradução Beatriz Vianna Boeira et al. São Paulo: Perspectiva, 2006.

KUNTZLEMAN, T. S.; COMFORT, A. E.; BALDWIN, B. W. Glowmatography. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 86, n. 1, p. 64-67, jan. 2009.

KUNTZLEMAN, T. S.; ROHRER, K.; SCHULTZ, E. The chemistry of *lightsticks*: demonstrations to illustrate chemical processes. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 89, n. 7, p. 910-916, june 2012.

LAJOLO, M. Livro didático: um (quase) manual de usuário. **Revista Em Aberto**. Brasília, ano 16, n. 69, p. 45-50, 1996.

LE COUTER, P.; BURRESON, J. **Os botões de Napoleão**: as 17 moléculas que mudaram a história. Tradução Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2006.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa**. Tradução Juergen Heinrich Maar. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

LEHNINGER, A. L. **Lehninger princípios de bioquímica**. Tradução Arnaldo Antônio Simões et al. 4. ed. São Paulo: Editora Sarvier, 2006.

LEMES, A. F. G.; SOUZA, K. A. F. D. de; CARDOSO, A. A. Representações para o processo de dissolução em livros didáticos de Química: o caso do PNLEM. **Química Nova na Escola**. São Paulo, vol. 32, n. 3, p. 184-190, ago. 2010.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**: conceitos fundamentais de neurociência. São Paulo: Atheneu, 2005.

LEVIE, W.; LENTZ, R. Effects of the text illustrations: a review. **Research Educational Communications and Technology Journal**. [S.l.], vol. 30, n. 4, p. 195-232, 1982.

LISBOA, J. C. F. **Química**. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2010.

LOGUERCIO, R. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com professores de Química. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 24, n. 4, p. 557-562, jul. 2001.

LOPES, A. O. **Introdução à mecânica clássica**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da Ciência Química. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 15, n. 3, p. 254-261, jul. 1992.

LORETO, É. L. S.; SEPEL, L. M. N.; SARTORI, P. H. S. **Radiações, moléculas e genes: atividades didático-experimentais**. 1. ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 2008.

L DKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 5. ed. São Paulo: EPU, 1986.

MAAR, J. H. **História da Química: dos primórdios a Lavoisier**. 2. ed. Florianópolis: Conceito Editorial, 2008.

MACHADO, A. H.; MORTIMER, E. F. Química para o ensino médio: fundamentos, pressupostos e o fazer cotidiano. In: ZANON, L. B.; MALDANER, O. A. (Org.). **Fundamentos e propostas de ensino de Química para a educação básica no Brasil**. Ijuí: Unijuí, 2007. p. 21-41.

MAHAN, B. M.; MYERS, R. J. **Química: um curso universitário**. Tradução Henrique Eisi Toma et al. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

MAIA, J. O.; SÁ, L. P.; MASSENA, E. P.; WARTHA, E. J. O livro didático de Química nas concepções de professores de ensino médio da região sul da Bahia. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, vol. 33, n. 2, p. 115-124, maio 2011.

MARCHETTI, F.; DI NICOLA, C.; PETTINARI, R.; TIMOKHIN, I.; PETTINARI, C. Synthesis of a fotoluminescent and triboluminescent copper (I) compound: an experiment for an advanced inorganic chemistry laboratory. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 89, n. 5, p. 652-655, apr. 2012.

MARCONDES, M. E. R. Proposições metodológicas para o ensino de Química: oficinas temáticas para a aprendizagem da Ciência e o desenvolvimento da cidadania. **Revista Em Extensão**. Uberlândia, vol. 7, p. 67-77, 2008.

MARTINS, J. B. **A história do átomo: de Demócrito aos quarks**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001.

MARTORANO, S. A. A.; MARCONDES, M. E. R. As concepções de Ciência dos livros didáticos de Química, dirigidos ao ensino médio, no tratamento da cinética química no

período de 1929 a 2004. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, vol. 14, n. 3, p. 341-355, dez. 2009.

MATUS, L.; BENARROCH, A.; NAPPA, N. La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 10, n. 1, p. 178-201, 2011.

MC MURRY, J. **Química orgânica**. Vol. 1. 7. ed. Tradução All Tasks. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de Ciências: problemas e soluções. **Revista Ciência & Educação**. Bauru, vol. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

MELLERS, K. L. G.; NUNES, F. B.; OLIVEIRA, J. R. de. Visão. In: OLIVEIRA, J. R. de. (Org.). **Biofísica: para Ciências Médicas**. Porto Alegre: EDISPUCRS, 2002. p.115-136.

MELO, M. R. **Estrutura atômica e ligações químicas** – uma abordagem para o ensino médio. 2002. 128 p. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MENDONÇA, P. C. C. **‘Ligando’ as ideias dos alunos à Ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. 2008. 231 p. Dissertação (Mestrado em Educação – Linha de pesquisa: Educação e Ciências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

\_\_\_\_\_.; JUSTI, R. S.; FERREIRA, P. F. M. Analogias usadas no ensino de equilíbrio químico: compreensões dos alunos e papel na aprendizagem. **Enseñanza de las Ciencias**. Barcelona, vol. 23, n. extra, p. 1-4, 2005.

MENDONÇA, R. J.; CAMPOS, A. F.; JÓFILI, Z. M. S. O conceito de oxidação-redução nos livros didáticos de Química Orgânica do ensino médio. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 20, p. 45-48, nov. 2004.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de Química brasileiros destinados ao ensino médio. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, vol. 5, n. 2, p. 67-91, maio 2000.

MORAES, M. A. **Pensamentos eco-sistêmico: educação, aprendizagem e cidadania no século XXI**. Petrópolis: Vozes, 2004.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Revista Ciência & Educação**. Bauru, vol. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

\_\_\_\_\_.; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Revista Ciência & Educação**. Bauru, vol. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

\_\_\_\_\_.; RAMOS, M. G.; GALIAZZI, M. C. Aprender Química: promovendo excursões em discursos da Química. In: ZANON, L. B.; MALDANER, O. A. (Org.). **Fundamentos e propostas de ensino de Química para a educação básica no Brasil**. Ijuí: Unijuí, 2007. p. 191-209.

MOREIRA, M. A. Mapas conceptuales y aprendizaje significativo de las Ciencias. **Revista Chilena de Educación Científica**. [S. l.], vol. 4, n. 2, p. 38-44, 2005.

MORGAN, M. S.; MORRISON, M. Models as mediating instruments. In: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. (Org.). **Models as mediators: perspectives on natural and social science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 10-37.

MORTIMER, E. F. Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de Química: mudança conceitual e perfil epistemológico. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 15, n. 3, p. 242-249, jul. 1992.

\_\_\_\_\_. **Linguagem e formação de conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

\_\_\_\_\_.; MACHADO, A. H. **Química 1: ensino médio**. São Paulo: Scipione, 2010.

\_\_\_\_\_.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de Química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 32, n. 2, p. 273-283, mar./abr. 2000.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro de Física. **Anais do XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Manaus, Amazonas, 2011.

NARDI, R. **Pesquisas no ensino de Física**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2004.

NERY, A. L. P.; BAADER, W. J. Quimiluminescência de peróxidos orgânicos: geração de estados eletronicamente excitados na decomposição de 1,2-dioxetanos. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 24, n. 5, p. 626-636, set./out. 2001.

\_\_\_\_\_.; FERNANDEZ, C. Fluorescência e estrutura atômica: experimentos simples para abordar o tema. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 19, p. 39-42, maio 2004.

NEWTON, I. **Óptica**. Tradução André Koch Torres Assis. 1 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

O'HARA, P. B.; EN ELSON, C.; PETER, W. S. Turning on the light: lessons from luminescence. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 82, n. 1, p. 49-52, jan. 2005.

ORNA, M. V. The Chemical origins of color. **Journal of Chemical Education**. Washinton, vol. 55, n. 8, p. 478-484, aug. 1978.

ORNA, M. V. (1980a). Chemistry and artists' colors: light and color. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 57, n. 4, p. 256-258, apr. 1980a.

ORNA, M. V. (1980b). Chemistry and artists' colors: structural features of colored compounds. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 57, n. 4, p. 264-266, apr. 1980b.

PACCA, J. L. A.; VILLANI, A. Categorias de análise nas pesquisas sobre conceitos alternativos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. [S. l.], vol. 12, n. 1, p. 123-138, dez. 1990.

PASELK, R. A. Visualization of the abstract in general chemistry. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 71, n. 3, p. 225, mar. 1994.

PAULING, L. **Química geral**. Tradução Roza Davidson Kuppermann et al. Vol. 1. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1972.

PAZINATO, M. S. **Alimentos: uma temática geradora do conhecimento químico**. 2012. 176 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PEARSON, E. F. Magnet and BB analogy for Millikan's oil-drop experiment. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 83, n. 9, p. 1313-1316, sept. 2006.

PEDROSA, I. **O universo da cor**. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2004.

\_\_\_\_\_. **Da cor à cor inexistente**. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2009.

PERALES, F. J. Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 24, n. 1, p. 13-30, 2006.

PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, vol. 20, n. 3, p. 369-386, 2002.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. do. **Química na abordagem do cotidiano**. Vol. 1. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2006.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 158-180.

POZO, J. I. A aprendizagem e o ensino de fatos e conceitos. In: COLL, C. et al. (orgs.). **Os conteúdos na reforma**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

POZO, R. M. Prospect teacher's ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. **International Journal of Science Education**. [S.l.], vol. 23, n. 4, p. 353-371, 2001.

POZZER-ARDENGHI, L.; ROTH, W. M. Photographs in lectures: gestures as meaning-making resources. **Linguistics and Education**. Wyoming, vol. 15, n. 2, p. 275-293, dec. 2005.

RETONDO, C. G.; FARIA, P. **Química das Sensações**. 3 ed. Campinas: Átomo, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Educação. **Proposta pedagógica para o ensino médio politécnico e educação profissional integrada ao ensino médio – 2011 – 2014**. Rio Grande do Sul: SUEPRO, 2011.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Educação. **Informações da escola**. Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <<http://www.educacao.rs.gov.br>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

RODRÍGUEZ, M. A.; NIAZ, M. How in spite of the rhetoric, History of Chemistry has been ignored in presenting atomic structure in textbooks. **Science & Education**. Netherlands, vol. 5, p. 423-441, sep. 2002.

ROMANELLI, L. I. O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 3, p. 27-31, maio 1996.

ROSA, P. R. da S. **Uma introdução à pesquisa qualitativa no ensino de Ciências**. Campo Grande: UFMS, 2011.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. Tradução Divo Leonardo Sanioto et al. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

\_\_\_\_\_. **Química Geral**. Tradução Márcia Guekezian et al. São Paulo: Makron Books, 1994.

RUTHERFORD, E. The scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  particles by matter and the structure of the atom. **Philosophical Magazine**. Série 6. Vol. 21, n. 21, p. 669-688, 1911.

SANTAELLA, L.; NÖTH, W. **Imagem, cognição, semiótica, mídia**. São Paulo: Iluminuras, 1998.

SANTOS FILHO, P. F. **Estrutura atômica & ligação química**. Campinas: UNICAMP, 2007.

SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (coords.). **Química cidadã: materiais, substâncias, constituintes, química ambiental e suas implicações sociais**. Vol. 1. 1 ed. São Paulo: Nova Geração, 2010.

SARTORI, P. H. dos S. **O processo de experimentação promovendo aprendizagens e competências científicas**. 2012. 227 p. Tese (Doutorado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 4, n. 1, p. 6-15, jan. 1981.

SCHNETZLER, R. P. Apontamentos sobre a História do ensino de Química no Brasil. In: SANTOS, W. L. P. dos; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 51-74.

SCHWARCZ, J. **Barbies, bambolês e bolas de bilhar**: 67 deliciosos comentários sobre a fascinante Química do dia a dia. Tradução José Maurício Gradel. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2009.

SCHWARTZ, S. J.; VON ELBEE, J. H.; GIUSTI, M. M. Componentes minoritários dos alimentos: corantes. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (Org.). **Química de alimentos de Fennema**. Tradução Adriano Brandelli et al. Porto Alegre: Artmed, 2010. p.445-498.

SCIENCE IN SCHOOL. **A fresh look at light**: build your own spectrometer. Netherlands, 2007. Disponível em: <<http://www.scienceinschool.org/2007/issue4/spectrometer>> Acesso em: 20 ago. 2012.

SELBACH, S. (Org.). **Ciências e didática**. Petrópolis: Vozes, 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SHAVIV, G. **The life of stars**: the controversial inception and emergence of the theory of stellar structure. New York: Springer, 2009.

SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; BRAIBANTE, H. T. S.; TREVISAN, M. C.; WOLLMANN, E. M.; PAZINATO, M. S. Algodão luminoso: uma atividade experimental para abordar o modelo atômico de Bohr. **Anais do 31º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química**. Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2011.

SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. Análise das concepções dos estudantes sobre o átomo. **Anais do 32º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2012.

SILVA, R. R. da.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W. L. P. dos; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 231-261.

SOLBES, J.; TRAVER, M. Resultados obtenidos introduciendo historia de la Ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la Ciencia y desarrollo de actitudes positivas. **Revista Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 19, n. 1, p. 151-162, 2001.

SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. B. **Química orgânica**. Vol. 1. Tradução de Whein Oh Lin. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

SOUZA, A. A. de. Perspectiva histórica. In: SOUZA, A. A. de; PASSOS, M. H. da S. (Org.). **Química nuclear e radioatividade**. Campinas: Átomo, 2012. p. 15-24.

SOUZA, V. C. de A.; JUSTI, R. S. Diálogos possíveis entre o ensino fundamentado em modelagem e a História da Ciência. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, vol. 11, n. 2, p. 385-405, 2012.

SOUZA, V. C. de A.; JUSTI, R. S.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, vol. 11, n. 1, p. 7-28, mar. 2006.

SOUZA, S. C. de; ALMEIDA, M. J. P. M. de. Escrita no ensino de Ciências: autores do ensino fundamental. **Revista Ciência & Educação**. Bauru, vol. 11, n. 3, p. 367-382, 2005.

STEVANI, C. V.; BAADER, W. J. O sistema quimiluminescente peróxi-oxalato. **Revista Química Nova**. São Paulo, vol. 22, n. 5, p. 715-723, set./out. 1999.

THEODORO, M. E. C.; KASSEBOEHMER, A. C.; FERREIRA, L. H. Os aspectos sócio-culturais e teórico-metodológicos recomendados pelo PCNEM: as contribuições dos livros didáticos de Química para os objetivos do ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. São Paulo, vol. 11, n. 2, p. 161-182, 2011.

THOMAS, N. C.; BROWN, R. A spectacular demonstration of flame tests. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 69, n. 4, p. 326-327, apr. 1992.

TORRES, J. R.; GEHLEN, S. T.; MUENCHEN, C.; GONÇALVES, F. P.; LINDEMANN, R. H.; GONÇALVES, F. J. F. Resignificação curricular: contribuições da investigação temática e da análise textual discursiva. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. São Paulo, vol. 8, n. 2, 2008.

TREVISAN, M. C. **Saúde bucal como temática para um ensino de Química contextualizado**. 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

TRINDADE, L. S. P. **A alquimia dos processos de ensino e de aprendizagem em Química**. São Paulo: Madras, 2010.

VALEUR, B. (2001a). **Molecular fluorescence: principles and applications**. [S. l.]: Wiley, 2001a.

\_\_\_\_\_. (2001b). On the origin of terms fluorescence, phosphorescence and luminescence. In: VALEUR, B.; BROCHON, J. C. (Org.). **New trends in fluorescence spectroscopy: application to chemical and life sciences**. Berlin: Springer, 2001b. p. 3-6.

\_\_\_\_\_.; BERBERAN-SANTOS, M. A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory. **Journal of Chemical Education**. Washington, vol. 88, n. 6, p. 731-738, mar. 2011.

VIANA, H. E. B. **A construção da teoria atômica de Dalton como Estudo de Caso: e algumas reflexões para o Ensino de Química**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A história da Ciência nos livros didáticos de Química do PNLEM 2007. **Revista Ciência e Educação**. Bauru, vol. 18, n. 2, p. 291-308, 2012.

VIEGAS, S. M. M. Introdução: de Física e de astros. In: VIEGAS, S. M. M.; OLIVEIRA, F. de. (Org.). **Descobrimo o Universo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004. p. 13-30.

VILCHES, A.; SOLBES, J.; GIL, D. El enfoque CTS y la formación del profesorado. In: MEMBIELA, P. (Ed.) **Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad**. Madrid: Narcea, 2001. p. 163-175.

VIVIANI, V. R. Lucíferases de vagalumes. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**. Brasília, n. 37, ano X, p. 8-19, 2007.

VIVIANI, V. R.; BECHARA, E. J. H. Um prêmio Nobel por uma proteína brilhante. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 30, p. 24-26, nov. 2008.

WARTHA, E. J.; FALJONI-ALÁRIO, A. A contextualização do ensino de Química através do livro didático. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 22, p. 42-47, nov. 2005.

WHITE, W. B. Arnold Sommerfeld. In: LAKHTAKIA, A. **Models and modelers of hydrogen: Thales, Thomson, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, Sallhofer**. River Edge: World Scientific Publishing, 1996.

WOLKE, R. L. **O que Einstein disse ao seu cozinheiro**: a Ciência na cozinha. Tradução Helena Londres. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

YOUNG, M. **Óptica e lasers**. Tradução Yara Tavares Fornaris. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

ZAPPE, J. A. **Agrotóxicos no contexto químico e social**. 2011. 134 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. [S. l.], vol. 5, n. 2, p. 3-16, dez. 1983.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 - Sondagem diagnóstica

#### Questionário Investigativo

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Este questionário faz parte de uma pesquisa de mestrado, do programa de Pós Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde da Universidade Federal de Santa Maria. Sua colaboração ao preencher este questionário, contribuirá para esta pesquisa.

1. Qual(is) seu(s) componentes curricular(es) disciplina(s) preferida(s)? Por quê?

---

---

2. Em sua opinião, a Química está presente em seu dia a dia? Cite alguns exemplos.

---

---

3. Você já teve aulas experimentais de Química? Se sim, comente.

---

---

4. Qual a constituição dos objetos, da natureza, das pessoas, enfim, de toda a matéria que nos rodeia?

---

---

---

Obrigada pela participação!!

Apêndice 2 - Guia dos modelos atômicos

Estrutura atômica

Matéria

Gregos { Leucipo \_\_\_\_\_  
Demócrito \_\_\_\_\_  
Epicuro \_\_\_\_\_

Dalton 1803 →

Thomson 1903 →

Rutherford 1911 →

Bohr 1913 →

**Apêndice 3 - Problemas propostos relacionados à estrutura da matéria****Resolva os problemas**

Nome: \_\_\_\_\_

Com base nos seus conhecimentos e nos conceitos desenvolvidos durante as intervenções anteriores, tente solucionar os problemas propostos abaixo. Utilize os livros didáticos disponibilizados pela pesquisadora para auxiliá-lo.

1. Os fogos de artifício são fabricados adicionando-se à pólvora outros compostos responsáveis por conferir a cor a eles. Ao serem acionados, os fogos de artifício apresentam diferentes cores, como: amarelo, vermelho, roxo, entre outros. Com base nessas informações, você já imaginou qual (quais) composto(s) são os responsáveis pelas diferentes cores visualizadas no céu?

---

---

---

---

2. Atualmente as televisões estão cada vez mais modernas, leves e finas, quando comparadas aos televisores mais antigos. Os televisores de tubo, como ficaram conhecidos, são constituídos por bobinas de direcionamento responsáveis por formarem a imagem no tubo. Mas como esse processo ocorre? Que tipo de material ou composto é direcionado pelas bobinas para que a imagem se forme?

---

---

---

---

3. Os luminosos de neônio e as lâmpadas de vapor de sódio ou mercúrio espalhados pela cidade são dispositivos que funcionam de maneira semelhante aos televisores de tubo. Desta forma, qual a explicação para a emissão de luz por essas lâmpadas?

---

---

---

---

4. Você conhece as pulseirinhas distribuídas em festa, também conhecidas como “pulseira de neon”? Já pensou como elas funcionam? Qual sua composição? Por qual motivo precisamos “bater” nelas para que comecessem a brilhar?

---

---

---

---

---

---

5. Os esmaltes fluorescentes também fazem parte do visual de muitas meninas que costumam frequentar locais para se divertir, como festas e boates. Esse esmalte não “brilha” quando exposto à luz branca (luz do sol, lâmpadas fluorescentes ou incandescentes), porém em locais onde há luz negra, esses esmaltes “brilham”. Como isso é possível?

---

---

---

---

## Apêndice 4 - Roteiro da atividade experimental “algodão luminoso”



### Algodão luminoso

O que produz as cores nos fogos de artifício? Existe alguma relação entre as cores e os modelos de átomos que estudamos?

Inventados provavelmente pelos chineses há mais de mil anos, os fogos de artifício são uma das formas mais populares de festejar alguma data ou evento. Em finais de ano, competições esportivas e em shows musicais é comum apreciarmos os espetáculos pirotécnicos que colorem o céu. Apesar de algumas evoluções, os métodos de preparação dos fogos de artifício não mudaram muito desde o século 18.

Como funcionam os fogos de artifício?



Na atividade experimental que vamos desenvolver hoje, observaremos as diferentes cores que os fogos de artifício apresentam quando acionados. Dessa forma, utilizaremos os “algodões luminosos”, que serão empregados para simular o princípio de funcionamento dos fogos de artifício.

Cada “algodão luminoso” emitirá uma determinada cor quando for submetido ao aquecimento, com o auxílio de um bico de Bunsen. Os fracos nos quais os algodões foram armazenados estão previamente identificados por números. À medida que os algodões forem submetidos ao aquecimento, observe o que ocorre e faça suas anotações. Encontre respostas que justifiquem as diferentes cores apresentadas pelos algodões.

Algodão	Observações	Explicação
1		
2		
3		
4		
5		

## Apêndice 5 - Roteiro da atividade experimental de separação dos componentes da lightstick

*Lightsticks*: bastão luminoso



Conhecidas como “pulseiras de neon”

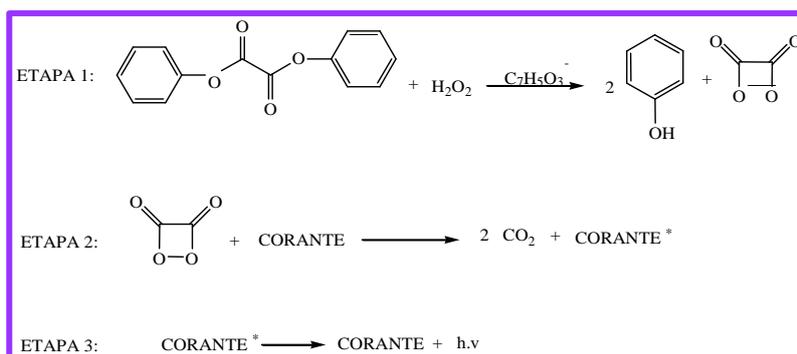


**Reação Quimiluminescente** → reação que emite luz



Semelhante ao que ocorre nos vaga-lumes

Se as lightsticks brilham, como essa reação ocorre? Por que é necessário “bater” nas pulseiras para que elas brilhem?



## Separando os componentes da lightstick

Coluna cromatográfica → cor  
→ escrita



A cromatografia em coluna é um método de separação dos componentes de uma mistura que se baseia na diferença



### Explicação do fenômeno

Elabore um pequeno texto descrevendo o que você observou nessa atividade, destacando os pontos mais interessantes. Não se esqueça de expressar sua opinião. Para ajudar você a elaborar esse texto escolha algumas palavras presentes no quadro abaixo.

elétron	energia	molécula
luz	ultravioleta	absorção
salto	átomo	liberação
	cor	Bohr

---

---

---

---

---

---

---

---

**Apêndice 7 - Guia auxiliar para a construção dos modelos atômicos**

Grupo: \_\_\_\_\_ Componentes: \_\_\_\_\_

Agora que vocês já conhecem um pouco mais sobre a estrutura atômica e sua relação com o cotidiano, construam os modelos atômicos sorteados, com base na teoria proposta pelos cientistas, considerando seu contexto histórico e utilizando os materiais disponibilizados.

Elabore um texto descrevendo as etapas do desenvolvimento desse trabalho, a forma como o processo de construção dos modelos sorteados foi estabelecido pelo grupo, quais materiais foram escolhidos para sua construção, quais os motivos que levaram os cientistas a construir determinado modelo além da justificativa da rejeição e substituição deste modelo pela comunidade científica da época. Além disso, não se esqueçam de expressar as ideias do grupo, quais as dificuldades encontradas para a execução da atividade e a relação desse modelo com o cotidiano. Para isso, utilize o quadro abaixo.

Após o término da construção dos modelos atômicos, cada grupo deve apresentar seus trabalhos para os colegas.

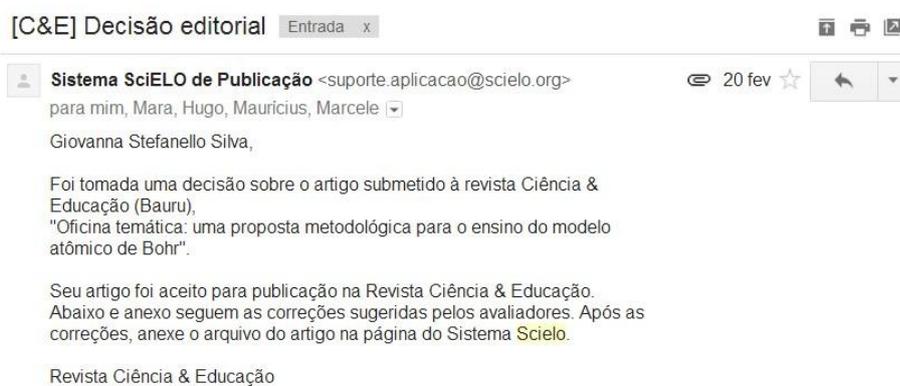
--

## ANEXOS

### Anexo 1 - Publicações relacionadas a essa pesquisa

#### Artigo aceito para publicação em periódico

- Oficina temática: uma proposta metodológica para o ensino do modelo atômico de Bohr. Revista Ciência e Educação, 2013.



#### Trabalhos completos publicados em anais de congressos

- Análise dos recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos pelos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2012. II Seminário Internacional de Educação em Ciências, 2012.
- Análise das concepções dos estudantes sobre o átomo. 32º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química, 2012.
- Algodão luminoso: uma atividade experimental para abordar o Modelo Atômico de Bohr. 31º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química, 2011.

#### Resumos publicados em anais de congressos

- O modelo atômico de Bohr nos livros didáticos de Química. 35ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2012.

- A Química em sua festa como temática para o Ensino de Química. 34<sup>a</sup> Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2011.