

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A
CIÊNCIA E A MATEMÁTICA**

JHENIFFER MICHELINE CORTEZ DOS REIS

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS:

Implicações na aprendizagem do conceito de átomo

**MARINGÁ - PR
2015**

JHENIFFER MICHELINE CORTEZ DOS REIS

OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS:

Implicações na aprendizagem do conceito de átomo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Neide Maria Michellan Kiouranis

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Pimentel da Silveira

**MARINGÁ - PR
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

R375o Reis, Jheniffer Micheline Cortez dos
Obstáculos epistemológicos: implicações na aprendizagem do conceito do átomo / Jheniffer Micheline Cortez dos Reis. -- Maringá, 2015.
175 f. : il., color., figs., tabs., graf., quadros.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Neide Maria Michellan Kiouranis.
Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Pimentel da Silveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, 2015.

1. Epistemologia. 2. Bachelard. 3. Ensino de Química. 4. Modelos atômicos. I. Kiouranis, Neide Maria Michellan, orient. II. Silveira, Marcelo Pimentel da, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática. IV. Título.

CDD 21.ed. 540.1

AHS-002798

JHENIFFER MICHELINE CORTEZ DOS REIS

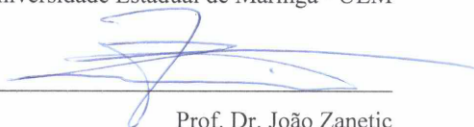
**Obstáculos epistemológicos: implicações na aprendizagem do conceito de
átomo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática.

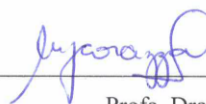
BANCA EXAMINADORA



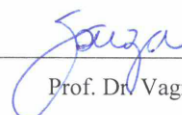
Prof. Dra. Nerde Maria Michellan Kiouranis
Universidade Estadual de Maringá - UEM



Prof. Dr. João Zanetic
Universidade de São Paulo - USP



Prof. Dra. Maria Júlia Corazza
Universidade Estadual de Maringá – UEM



Prof. Dr. Vagner Roberto de Souza
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Maringá, 20 de Fevereiro de 2015.

Dedico este trabalho

Primeiramente a Deus, minha fortaleza e meu escudo;

À minha família, meu alicerce, sobretudo, à minha mãe Izabel Cristina Micheline Pizani e ao meu marido Denyson Gonçalves dos Reis.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

À minha orientadora, professora Dr^a. Neide Maria Michellan Kjouranis, sempre dedicada em tudo o que faz, pelas oportunidades e pelo caminho que pude trilhar ao seu lado.

Ao meu coorientador, professor Dr. Marcelo Pimentel da Silveira, pelo compartilhamento de experiências e pelas discussões acerca da epistemologia bachelardiana.

Ao professor Dr. Vagner Roberto de Souza e aos estudantes do curso de química, pela valiosa contribuição para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, Brenno Ralf Maciel Oliveira, Débora Piai Cedran, Jaime Cedran e Murillo Sotti, pelo companheirismo e pelas discussões partilhadas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, à Universidade Estadual de Maringá e aos professores com os quais tive oportunidade de discutir e aprender sobre o ensino de ciências.

À CAPES pelo apoio financeiro concedido por um ano.

Especialmente, agradeço à minha família, minha mãe, Izabel Pizani, meu padrasto, Valdemir Pizani, meu irmão, Kevin Cortez, meu pai, Kennedy Cortez, meus avós, Aparecida e Leozino Micheline, e Gilda Peres e João Faustino, meu marido Denyson dos Reis, minha sogra Inauda Gonçalves, pessoas maravilhosas que Deus colocou próximas de mim, para serem meu alicerce e minha alegria.

*Estou decidido a ser sábio; mas isso estava fora do meu alcance.
A realidade está bem distante e é muito profunda; quem pode descobri-la?
Por isso dediquei-me a aprender, a investigar, a buscar a sabedoria e a razão de ser das
coisas, para compreender a insensatez da impiedade e a loucura da insensatez.*

Bíblia Sagrada - Eclesiastes 7:23-25

O átomo é uma sociedade matemática que ainda não nos revelou o seu segredo.

Gaston Bachelard (1984, p. 23)

RESUMO

REIS, J. M. C. **Obstáculos epistemológicos**: implicações na aprendizagem do conceito de átomo. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

Esta pesquisa teve como objetivo analisar uma situação de ensino, buscando identificar, em estudantes de graduação em química, possíveis obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito de átomo e suas implicações na aprendizagem de outros conhecimentos químicos. A noção de obstáculo epistemológico de Gaston Bachelard foi utilizada como referencial teórico, na busca de respostas às seguintes questões: Estudantes de química do ensino superior podem apresentar obstáculos epistemológicos acerca da compreensão do modelo atômico? E de que maneira esses obstáculos interferem na aprendizagem de conceitos de ligação química e na interpretação de fenômenos relacionados a esses conhecimentos? A pesquisa, de natureza qualitativa, foi realizada com os estudantes, durante uma sequência de aulas da disciplina de Química Geral, no primeiro ano do curso de licenciatura em Química de uma Universidade pública do Estado do Paraná. Consideramos relevante para esta pesquisa os dados coletados por meio de questionários, avaliação formal realizada na disciplina, registros em diário e gravações de todos os momentos das aulas observadas. Para compor o corpus de análise e interpretação dos resultados, os dados foram tratados conforme a análise de conteúdo de Bardin e discutidos, tendo como referencial de análise o próprio Bachelard. Nessa perspectiva, foi possível identificar que alguns estudantes possuem concepções realistas sobre o átomo, como a partícula pequena e indivisível. Além deste, o obstáculo verbal foi identificado nas analogias e metáforas para a explicação do conceito de átomo e podem influenciar em uma visão abstrata do átomo. Por fim, destacamos, como um dos maiores entraves à compreensão do modelo atômico atual, o substancialismo. Ao analisarmos a influência dos obstáculos na compreensão do fenômeno da queima do magnésio, foi possível identificar a experiência primeira associada ao realismo e aquilo que se pode observar apenas macroscopicamente. Nesse sentido, o grande desafio no ensino de química é desenvolver uma visão no nível atômico e, nesse processo, há uma ruptura entre os conhecimentos de senso

comum e o conhecimento científico. Esses resultados nos remetem à necessidade e importância de conhecer e buscar a superação dos obstáculos epistemológicos e pedagógicos, no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos químicos.

Palavras-chave: Epistemologia, Bachelard, Ensino de Química, Modelos atômicos.

ABSTRACT

REIS, J. M. C. **Epistemological obstacles**: implications on the learning of the concept of the atom. 2015. 175 f. Master's Dissertation in the Education for Science and Mathematics, Universidade Estadual de Maringá, Maringá PR Brazil, 2015.

Current research analyzes the teaching conditions and identifies in Chemistry Course undergraduates the possible epistemological obstacles related to the concept of the atom and its implications on the learning of further chemical knowledge. Gaston Bachelard's notion on epistemological obstacle was employed as a reference in search of the following questions: Do Chemistry undergraduates present any epistemological obstacles with regard to the understanding of the atomic model? How do these obstacles interfere in the learning of concepts on chemical bonds and in the interpretation of phenomena related to this knowledge? The qualitative research was conducted with students during a series of lessons on General Chemistry during the first year of the Chemistry Course in a government-run university in the state of Paraná, Brazil. Data collected by questionnaires, formal assessment of the discipline, diary reports and recordings of all instances of the lessons were relevant for current research. So that the analysis and interpretation of results could be composed, data were treated according to Bardin's content analysis and discussed, with Bachelard as reference. One could identify that some students have realistic concepts on the atom, as a small and indivisible particle. Further, the verbal obstacle was identified in the analogies and metaphors for the explication of the concept of the atom, which may affect an abstract vision of the atom. It may be underscored that substantialism is one of the most important impairments for the understanding of current atom model. When the influence of obstacles in the understanding of the phenomenon with regard to the burning of magnesium is analyzed, one could identify the first experience associated with realism and that which could be only macroscopically observed. In fact, the greatest challenge in the teaching of Chemistry is the development of an idea at the atomic level and, within the same process, a disruption between common sense knowledge and scientific knowledge. Results reveal the necessity and importance of knowing and overcoming the epistemological and pedagogical obstacles in the teaching and learning process of chemical concepts.

Keywords: Epistemology, Bachelard, the teaching of Chemistry, atomic models.

LISTA DE TABELAS E ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Turma 1.....	61
Tabela 2 - Turma 2.....	61
Tabela 3 - Categorias representativas das explicações dos estudantes para o fenômeno da queima do magnésio	92
Quadro 1 - Atomismo realista, positivista, criticista e axiomático discutido por Bachelard em <i>As Intuições atômicas</i>	51
Quadro 2 - Resumo geral das aulas observadas	58
Quadro 3 - Palavras ou termos mencionados com maior frequência no questionário 2	63
Quadro 4 - Palavras ou termos mencionados uma vez no questionário 2	66
Quadro 5 - Episódio de ensino da atividade da queima do magnésio	96
Quadro 6 - Episódio de ensino da aula que discute sobre a reação química.....	104
Figura 1 - Quadro proposto no livro <i>O Pluralismo Coerente da Química Moderna</i> para explicar quantos elétrons cada período comporta	44
Figura 2 - Representação de acordo com o modelo de Bohr.....	68
Figura 3 - Representação de acordo com o modelo de Rutherford	68
Figura 4 - Representação conforme o modelo da mecânica quântica.....	69
Figura 5 - Representação conforme o modelo de Dalton	70
Figura 6 - Representação conforme o modelo de Thomson.....	70
Figura 7 - Representação do átomo do estudante A42	77
Figura 8 - Representação de A42 sobre a diferença entre um átomo monoelétrônico de um polieletrônico (Avaliação formal).....	78
Figura 9 - Acadêmicos que apresentaram a palavra indivisível em contradição com outros termos ..	84
Figura 10 - Representação e explicação de A36 do átomo	86
Figura 11 - Exemplo de obstáculo substancialista na resposta dada por A31	88
Figura 12 - Representação feita por A35 para explicar o conceito de orbital atômico na avaliação formal.....	90
Figura 13 - Explicação do estudante A2 acerca da queima do Magnésio	93
Figura 14 - Representação da reação do magnésio com o oxigênio proposta pelo estudante A47.....	95
Figura 15 - Representação da reação de oxidação do magnésio proposta pelo estudante A37	96
Figura 16 - Classificação das respostas dos estudantes ao fenômeno da queima do magnésio nas zonas do perfil epistemológico.	107
Gráfico 1 - Percentual de representação dos modelos atômicos	71

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1: A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E O CONCEITO DE ÁTOMO	19
1.1 FRAGMENTOS DA EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD	19
1.2 A NOÇÃO DE OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO	22
1.2.1 Obstáculo epistemológico: Experiência primeira	25
1.2.2 Obstáculo epistemológico: Conhecimento geral	26
1.2.3 Obstáculo epistemológico: verbal.....	27
1.2.4 Obstáculo epistemológico: substancialista	28
1.2.5 Obstáculo epistemológico: realismo.....	30
1.3 BACHELARD NO ENSINO E NA PESQUISA.....	31
1.4 O ÁTOMO NUMA VISÃO BACHELARDIANA	37
1.5 O ENSINO E A PESQUISA SOBRE O CONCEITO DE ÁTOMO	48
CAPÍTULO 2: O CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO	54
CAPÍTULO 3: OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS: UM OLHAR SOBRE AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES	62
3.1 CONCEPÇÕES DE ÁTOMO DOS LICENCIANDOS.....	63
3.2 OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	80
3.2.1 Obstáculo realista.....	82
3.2.2 Obstáculo verbal	86
3.2.3 Substancialismo.....	88
3.3 IMPLICAÇÕES NA APRENDIZAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS	92
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
REFERÊNCIAS.....	114
APÊNDICES	120
Apêndice A: Questionário para caracterização dos sujeitos.....	120
Apêndice B: Questionário inicial sobre as concepções de átomo	122
Apêndice C: Questionário da atividade sobre a queima de magnésio	123
Apêndice D: Respostas dos estudantes aos questionários	124
Apêndice E: Planejamento da Atividade da queima do magnésio	155
Apêndice F: Transcrição da Atividade da queima do magnésio em uma das turmas pesquisadas	157
ANEXO	174
Anexo A: Quadro do Conteúdo programático da disciplina de Química Geral.....	174

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta algumas reflexões acerca do ensino de Química, no que se refere ao conteúdo de estrutura atômica, considerado um dos tópicos fundamentais para o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos químicos, no entanto nem sempre de fácil compreensão. O tópico abordado na pesquisa está diretamente relacionado à composição da matéria que, ao longo da história da humanidade e do conhecimento científico, tem sido identificada por meio de diversos modelos explicativos.

Uma das ideias é a de que a matéria seja constituída por átomos, nome que surgiu com os gregos Leucipo e Demócrito e que significa indivisível (a = não; tomos = parte). De acordo com tais filósofos, a matéria poderia ser dividida até um ponto em que não seria mais possível e teríamos, então, essa menor parte da matéria indivisível, que chamaram de átomos. A teoria atômica grega foi tema das obras do poeta romano Lucrécio (98 – 55 a. C.), que, ao falar da origem da noção atômica de Leucipo e Demócrito, traz a concepção de limite para a divisão da matéria:

Os corpos são constituídos, de uma parte do princípio simples das coisas, os átomos, e de outra parte, dos compostos formados por esses elementos primitivos. Quanto a estes, nenhuma força é capaz destruir; a toda tentativa nessa direção, eles resistem com solidez. Contudo, se não admitirmos na natureza um termo último de pequenez, os corpos ainda menores serão formados de uma infinidade de partes, pois que cada metade possuirá sempre uma metade, e assim por diante até o infinito. Que diferença haverá entre o próprio Universo e os corpos muito pequenos? Nenhuma diferença poderá ser estabelecida: tão pequeno ou tão grande que se suponha o universo, os corpos muito pequenos serão, eles próprios, compostos de uma infinidade de partes. A razão se revolta contra essa consequência e não admite que o espírito a aceite; por isso, é necessário que tu confesses vencido e que tu reconheças que existem partículas irreduzíveis a toda divisão e que atingiram o degrau último da pequenez; e com elas existem, é preciso que reconheças também que elas são sólidas e eternas (LUCRÉCIO, 1964 apud ZANETIC; MOZENA, 2009, p. 129).

Cabe ressaltar que o modelo de constituição da matéria por meio de átomos apresentado pelos gregos não foi aceito durante muito tempo, prevalecendo o modelo aristotélico da matéria, qual seja, o dos quatro elementos. Entre os séculos XVI e XVII, alguns filósofos da natureza, tais como Galileu, Gassendi, Boyle, Newton, entre outros, retomaram a ideia atomista sobre a matéria, mas sem desenvolver estudos sobre o átomo propriamente dito. Apenas assumiram a ideia de que haveria pequenas

partes da matéria que seriam utilizadas para explicar as teorias mecanicistas desenvolvidas nessa época. É no início do século XIX que foi proposto um modelo científico de constituição da matéria por meio dos átomos e, a partir deste, surgiram vários outros.

Com o advento da teoria quântica no início do século XX, o átomo passa a ter um modelo de estrutura diferente daqueles propostos anteriormente, tendo sido o conceito de orbital fundamental para a explicação da estrutura atômica. De acordo com tal modelo, admitia-se que a maior parte do átomo fosse composta de espaço vazio, vácuo. Como é possível, entretanto, entender o átomo como sendo constituído de espaço vazio? Como a matéria pode ser sólida e constituída de espaços vazios?

Se a estrutura atômica atualmente aceita se mostra tão complexa, como os estudantes da licenciatura em química aprendem esse conceito? E, acima de tudo, pensando na formação inicial de professores de química, como eles irão ensinar estrutura atômica quando forem professores? Será que é possível identificar obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito de átomo na fala dos estudantes de química? Foi pensando nessas várias indagações que surgiu o objeto desta pesquisa, fundamentada na epistemologia de Bachelard.

Gaston Bachelard foi um homem à frente de seu tempo que discutiu, em sua vasta obra, questões epistemológicas acerca do conhecimento científico, assim como sobre os devaneios, a poética e a imaginação. Ele viveu o processo de rompimento do conhecimento clássico sobre a matéria, o qual cedeu lugar ao conhecimento quântico, e incorporou alguns de seus aspectos em sua obra. Embora sua intenção não fosse discutir educação, sua trajetória como professor faz dele um referencial adequado para a pesquisa em ensino de ciências, uma vez que incorporou aspectos pedagógicos do ensinar ciências em suas discussões a respeito da epistemologia da ciência.

De acordo com Bachelard, a valorização do erro é fundamental para a construção de conhecimentos científicos e pode ser considerada uma das principais características do espírito científico. Nesse sentido, o filósofo afirma que os obstáculos epistemológicos, noção presente em uma de suas obras mais conhecidas, *A formação do espírito científico*, são entraves ao conhecimento e surgem do conhecimento não questionado e da ruptura entre os conhecimentos de senso comum e os conhecimentos científicos e, até mesmo, da passagem destes para modelos científicos mais avançados.

Considerando que, no processo de ensino e aprendizagem, os estudantes chegam às aulas de química com suas concepções, suas ideias prévias e suas experiências de vida e que estas influenciam na aprendizagem de conceitos, o ensino deve, então, lidar com tais ideias para que a construção de conhecimento seja efetiva e tenha sentido para o estudante.

A motivação para esta pesquisa está centrada justamente nas possíveis dificuldades de aprendizagem e nos obstáculos epistemológicos que podem estar incrustados nas concepções prévias dos estudantes, especificamente, na dificuldade de compreender o átomo. A **questão de pesquisa** que investigamos foi: “Estudantes de química do ensino superior podem apresentar obstáculos epistemológicos acerca da compreensão do modelo atômico? De que maneira os obstáculos interferem na aprendizagem de conceitos de ligação química e na interpretação de fenômenos relacionados a esses conhecimentos?”.

Assim, o **objetivo** da pesquisa é identificar os obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito de átomo e investigar suas implicações na aprendizagem de outros conhecimentos químicos.

A pesquisa foi realizada com estudantes do curso de licenciatura em Química de uma Universidade pública do estado do Paraná, na disciplina de Química Geral, oferecida durante o primeiro ano do curso. Esta disciplina tem apresentado certo índice de reprovação ao longo dos últimos anos e revelado que os estudantes apresentam dificuldades de compreensão de alguns conceitos. Além disso, há que se considerar que a disciplina é de fundamental importância na formação de professores de química, uma vez que discute seus aspectos fundamentais.

A ementa da disciplina de Química Geral, focalizada nesta pesquisa, normalmente apresenta o conteúdo “Estrutura da Matéria” como um dos primeiros a serem discutidos no curso de química, seguido de “Tabela periódica” e “Ligação Química”. Sabe-se que estes três tópicos são essenciais para o ensino de química e que estão interligados, ou seja, para entender ligações químicas ou propriedades periódicas, é necessário compreender aspectos relacionados à estrutura atômica.

Por isso, além de discutir sobre o átomo, esta pesquisa buscou investigar a influência dos obstáculos epistemológicos quando os estudantes utilizam esse conceito em explicações sobre ligações químicas e reações químicas. Para o desenvolvimento da pesquisa, acompanhou-se uma sequência de ensino, durante a qual os dados foram coletados por meio de questionários, registro das observações e

gravação em áudio e vídeo das aulas, além da análise da avaliação formal, aplicada na disciplina.

Esta dissertação encontra-se organizada em três capítulos, além das Considerações finais. No **Capítulo 1**, discutiremos sobre a noção de obstáculo epistemológico proposta por Bachelard, bem como a visão desse epistemólogo sobre o átomo. Além disso, destacaremos a vertente pedagógica de Bachelard. Por fim, uma sessão é destinada para a discussão sobre o ensino e a pesquisa do conceito de átomo.

No **Capítulo 2**, os procedimentos e caminhos metodológicos deste estudo são apresentados, enfatizando-se o contexto em que a pesquisa foi desenvolvida, como foi realizada a coleta dos dados e a análise, pautado na epistemologia bachelardiana.

No **Capítulo 3**, procede-se à análise e discussão dos dados desta pesquisa, apresentando e discutindo as concepções dos licenciandos¹ sobre o átomo, bem como apontando possíveis obstáculos epistemológicos a respeito desse conceito. Destacamos os obstáculos epistemológicos realista, verbal e substancialista, identificados na pesquisa. As implicações desses obstáculos na aprendizagem de outros conceitos químicos, como o de ligação química e reação, também são objeto deste capítulo.

Por fim, nas **Considerações finais**, são tecidas algumas reflexões acerca do objeto desta pesquisa, com base nos resultados da investigação, assim como são feitas algumas proposições sobre o ensino desses aspectos.

¹ Optamos por utilizar a nomenclatura estudante para se referir aos licenciandos em química.

CAPÍTULO 1: A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E O CONCEITO DE ÁTOMO

Como não ver que é o abstrato que prolifera na teoria química moderna?

(BACHELARD, 2009, p. 205)

Neste capítulo, propõe-se inicialmente uma discussão acerca da epistemologia de Bachelard, no que tange a suas obras e alguns conceitos discutidos pelo autor. Aprofundamos nossa discussão, enfocando a noção de obstáculo epistemológico, apresentada por Bachelard em *A formação do Espírito Científico*, bem como o conceito de átomo, apresentado pelo filósofo em diversas obras. Além disso, a vertente pedagógica de Bachelard é explorada em uma das sessões deste capítulo. Ao final, trata-se, de modo geral, sobre o ensino e a pesquisa a respeito do conceito de átomo.

1.1 FRAGMENTOS DA EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD²

Em 27 de junho de 1884, nascia Gaston Bachelard, um filósofo e poeta que contribuiu para a ciência de modo ímpar. Pouco antes de sua morte, em 16 de outubro de 1962, Bachelard se define como um estudante: “Eu estudo! Sou apenas o sujeito do verbo estudar. Pensar, nem tento. Antes de pensar, é preciso estudar. Só os filósofos pensam antes de estudar” (BACHELARD, 2008, p. 7). Em sua primeira experiência de trabalho, enquanto estudava matemática, foi funcionário dos correios. Sua intenção era ser engenheiro, no entanto a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) provoca mudanças nas expectativas de Bachelard, levando-o a lecionar química e física na escola secundária de sua cidade natal. De acordo com Bertoche (2014, p. 270),

² Os dados biográficos e as suas publicações foram consultadas na introdução da obra *Os Pensadores: Bachelard*, escrita por José Motta Pessanha.

Sua formação intelectual ocorreu durante as três primeiras décadas desse século (século XX). Iniciou sua carreira como *répétiteur* no liceu da pequena cidade de Bar-sur-Aube, mas logo veio a se tornar funcionário dos Correios. Quando a I Guerra Mundial começou, foi convocado; passou três anos nas trincheiras e foi condecorado. Após o fim da guerra, voltou à vida acadêmica: durante os anos 1920, fez estudos em Filosofia, orientado por Léon Brunschvicg e Abel Rey.

A partir dos estudos em filosofia, Bachelard defende duas teses: “Ensaio do conhecimento aproximado” (*Essai sur la connaissance approchée*) e “Estudo sobre a Evolução de um Problema de Física: a propagação Térmica nos Sólidos” (*Étude sur l'évolution d'un problème de physique*), ambas publicadas em 1928 e defendidas no ano anterior.

Em 1930, é convidado para lecionar na Faculdade de Dijon e apresenta seus primeiros artigos na *Recherches Philosophiques*: “Númeno e microfísica”, “O mundo como capricho e miniatura” e “Idealismo discursivo”, publicados entre 1931 e 1934 e reimpressos no livro “Estudos” (*Études*) em 1970. Tais artigos esclarecem o período entre seus estudos iniciais e os trabalhos desenvolvidos no campo da ciência e da poética a partir de 1934. No primeiro artigo, Bachelard apresenta o termo “fenomenotécnica”, um conceito importante acerca da fenomenologia do saber, que significa a observação dos fenômenos por meio de instrumentos, técnicas, o que remete também à produção de fenômenos no nível microscópico. No segundo, trata de relações entre a percepção do espaço e o sonho. No terceiro, discute aspectos que serão necessários para a elaboração do alicerce do novo espírito científico. Também publica os livros “O pluralismo coerente da química moderna” (*Le pluralisme cohérent de la chimie moderne* – 1932), “As Intuições atômicas” (*Les Intuitions atomistiques* – 1932) e o “O Novo Espírito Científico” (*Le Nouvel esprit scientifique* – 1934), nos quais caracteriza sua epistemologia em função das revoluções científicas que a teoria da relatividade e a teoria quântica causaram no século XX.

Em 1936, publica “A Dialética da duração” (*La Dialectique de la durée*), livro no qual discute sobre a descontinuidade temporal. Em 1937, publica “A experiência do espaço na física contemporânea” (*L'Expérience de l'espace dans la physique contemporaine*), livro no qual discute sobre a física quântica, apresentando inicialmente as características do que é real e como se pode localizá-lo, para, então, discutir o problema da localização do real na microfísica, que deu origem ao princípio da incerteza proposto por Heisenberg.

A obra “A Formação do Espírito Científico” (*La Formation de l'esprit scientifique*), publicada em 1938, apresenta a noção de obstáculo epistemológico que, de acordo com Bachelard, deve ser superada para a formação do espírito científico. Nessa obra, pode-se notar ainda sua vertente pedagógica desenvolvida como professor.

Em 1940, torna-se professor na Sorbonne e publica “A filosofia do não” (*La Philosophie du Non*), obra na qual discute sobre as diversas formas de entender um conceito científico, esboçando o perfil epistemológico das suas noções referentes aos conceitos de massa e energia.

No campo científico, ainda se destacam os seguintes livros: “O racionalismo aplicado” (*Le Rationalisme appliqué*), publicado em 1949, “A atividade racionalista da física contemporânea” (*L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*), publicado em 1951, e “O materialismo racional” (*Le Matérialisme rationnel*), publicado em 1953, no qual Bachelard discute o caráter matemático presente na nova química, em contraposição ao empirismo pelo qual foi caracterizada por muito tempo.

Japiassú (1976), ao discutir sobre este autor, caracteriza-o como o mais notável filósofo das ciências de língua francesa, destacando que Bachelard possui o pensamento diurno, no que se refere ao campo científico, e o pensamento noturno, no tocante ao campo poético. Além disso, pode-se destacar em Bachelard uma pedagogia científica, que, segundo Japiassú (1976), é a tradução de sua filosofia da ciência.

Em sua vasta produção diurna, Bachelard discute diversos aspectos sobre a ciência e o modo como a concebemos. Um dos aspectos marcantes da epistemologia bachelardiana é a necessidade de sempre formar um novo espírito científico. Para Bachelard (1996, p. 293), “[...] o espírito científico vence os diversos obstáculos epistemológicos e se constitui como conjunto de erros retificados. [...] A psicologia da atitude objetiva é a história dos nossos erros pessoais”. O erro, aqui considerado, é aquele gerado pelo que Bachelard denomina obstáculos epistemológicos, que abordaremos na próxima sessão.

1.2 A NOÇÃO DE OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO

A filosofia de Bachelard admite que a construção do conhecimento científico não é contínua, pelo contrário, “[...] o ato de conhecer dá-se *contra* um conhecimento anterior” (BACHELARD, 1996, p. 17). Assim, o conhecimento científico é construído por ruptura com o conhecimento anterior e não continuidade. Bachelard (1996) destaca que a ciência passou por três períodos: o estado pré-científico (da Antiguidade clássica até o século XVIII), o estado científico (final do século XVIII até o início do século XX) e o novo espírito científico (a partir de 1905).

Isto posto, Bachelard (1984) identifica que o conhecimento científico foi marcado por diversas filosofias que ele elenca quando discute suas noções de massa e energia: realismo ingênuo, empirismo claro e positivista, racionalismo newtoniano ou kantiano, racionalismo completo e racionalismo dialético. Essas filosofias são constituintes do que Bachelard (1984) chama de perfil epistemológico, que deve ser necessariamente sobre um conceito científico e é uma noção pessoal, sendo que cada indivíduo, em determinado contexto, pode ter, em maior ou menor grau, cada uma das filosofias mencionadas.

O fato é que as zonas do perfil epistemológico de qualquer conceito indicam as rupturas que existiram para que houvesse a transição de uma filosofia à outra. Essas rupturas podem se dar de duas maneiras: entre o novo conhecimento científico e o anterior, ou entre o conhecimento comum e o conhecimento científico (BERTOCHE, 2013).

A grande questão é que, ao se posicionar contra um conhecimento anterior, seja ele científico ou comum, pode surgir o que Bachelard chama de obstáculo epistemológico. O filósofo estabelece uma relação entre as noções de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico, discutindo que um “[...] perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos que uma cultura teve que superar” (BACHELARD, 1984, p. 30). Nesse sentido, entendemos que o progresso do conhecimento científico se dá em termos de superação desses obstáculos. Silveira (2003, p. 34) discute que “[...] um obstáculo epistemológico funciona como uma espécie de anti-ruptura”.

De acordo com Canguilhem³ (BACHELARD, 2008), a noção de obstáculo epistemológico é discutida por Bachelard no artigo “Luz e Substância”, publicado em

³ A posição de Canguilhem acerca dos obstáculos epistemológicos estão presentes na apresentação do livro Estudos, que reúne alguns artigos de Bachelard.

1934, embora ele não o tenha assim chamado nesse trabalho. Bachelard menciona o exemplo do grande pensador Schopenhauer⁴, destacando algumas características de obstáculos epistemológicos, tais como atribuir à substância características antropomórficas e acreditar nas intuições de modo rápido e perspicaz, que poderiam ser indicados pelos obstáculos animista e experiência primeira, respectivamente. O filósofo argumenta que “[...] não será essa a melhor prova de que a intuição primeira, na ordem das ciências físicas, é apenas a primeira ilusão? Não será também a prova de que a explicação substancialista imediata é a explicação enganosa?” (BACHELARD, 2008, p. 52). Ao abordar as ciências contemporâneas, enfatiza que

[...] quando a física matemática contemporânea se serve de imagens, utiliza essas imagens *depois* da equação, para ilustrar verdadeiros teoremas. A ciência realista precedente utiliza, ao contrário, as imagens *antes* da ideia, na crença de fundamentar uma ciência realista da medida sobre – em tudo e sempre – objetos (BACHELARD, 2008, p. 57).

Quando Bachelard discute sobre a resistência em relação às imagens, poderíamos interpretar que discute sobre o obstáculo verbal e/ou realista. Desse modo, nos exemplos citados acima, embora Bachelard não faça a distinção e a caracterização dos obstáculos epistemológicos, apresenta as noções de alguns dos obstáculos abordados por ele posteriormente e com maior profundidade no livro *A Formação do Espírito Científico* de 1938.

Bachelard (1996) afirma que a noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada ao longo do processo de desenvolvimento do conhecimento científico⁵. Assim, ele destaca que “[...] no fundo, o ato de conhecer dá-se *contra* um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização” (BACHELARD, 1996, p. 17), definindo os obstáculos epistemológicos como as causas de inércias e os conflitos que são próprios do ato de conhecer.

Para a discussão dos obstáculos epistemológicos, Bachelard utiliza-se de muitos exemplos da história da ciência, embora não se considere um historiador. O

⁴ Schopenhauer foi um filósofo alemão do século XIX, grande conhecedor das ciências biológicas de seu tempo, que acreditava que a realidade experiencial poderia ser percebida diretamente pelos humanos.

⁵ Bachelard também discute os obstáculos epistemológicos na educação. Esse aspecto será abordado na sessão destinada ao Bachelard pedagógico.

autor indica, em diversas obras, ter conhecimento dos autores, tanto de sua época como de séculos passados, e, em grande parte de suas discussões, utiliza-se de fonte primária.

Bachelard destaca que a opinião é o primeiro obstáculo a ser superado⁶, pois ela

[...] *pensa* mal; não *pensa*: traduz necessidades em conhecimentos. [...] Não se pode basear nada na opinião: antes de tudo, é preciso destruí-la. Ela é o primeiro obstáculo a ser superado. [...] O espírito científico proíbe que tenhamos uma opinião sobre questões que não compreendemos, sobre questões que não sabemos formular com clareza (BACHELARD 1996, p. 18).

Desse modo, se pensarmos em motivos para a existência dos obstáculos epistemológicos, um dos mais prováveis seria nós mesmos. Zanetic (1999, apud SILVEIRA, 2003, p. 34) afirma que os obstáculos epistemológicos “[...] se devem ao psiquismo humano, às resistências psicológicas em abandonar determinadas concepções que causariam certa instabilidade psíquica”.

Destacamos que os obstáculos epistemológicos serão discutidos sempre na tentativa de fazermos a triangulação desses no campo da educação química, uma vez que “[...] a noção de *obstáculo epistemológico* pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação. Em ambos os casos, esse estudo não é fácil” (BACHELARD, 1996, p. 21).

Nesse sentido, retomamos nosso propósito nesta pesquisa, qual seja, o de identificar obstáculos epistemológicos e como estes influenciam no processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos. Para isso, serão caracterizados apenas alguns obstáculos epistemológicos apontados por Bachelard e que são relevantes para nossa pesquisa, tais como: experiência primeira, o conhecimento geral, o obstáculo verbal, o obstáculo substancialista, o obstáculo realista.

⁶ No ensino de ciências, a opinião está relacionada ao que é chamado de conhecimentos prévios; neste caso, quando não há problematização dessas opiniões, elas podem se tornar obstáculos à aprendizagem de conhecimentos científicos.

1.2.1 Obstáculo epistemológico: Experiência primeira

Com relação à experiência primeira, Bachelard (1996, p. 25) afirma que “[...] a observação primeira é sempre um obstáculo inicial para a cultura científica. [...] Essa observação primeira se apresenta repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural, fácil”. Entendemos que esse obstáculo revela o quanto se deve observar um fenômeno para entendê-lo e o risco que existe ao fazer conclusões rápidas sobre os fenômenos observados. De modo mais fácil, podemos associar o obstáculo da experiência primeira com o que conhecemos por conhecimento de senso comum, isto é, a opinião que temos sobre os fenômenos naturais, que remetem à vivência cotidiana.

Ao abordar os experimentos com a eletricidade no século XVIII, Bachelard aponta como as primeiras observações são falhas, pois “[...] *em vez de ir ao essencial, acentua-se o lado pitoresco*” (BACHELARD, 1996, p. 43). Ainda discute sobre a alquimia com vistas a “[...] provar claramente que o que existe de mais imediato na experiência primeira somos nós mesmos, nossas surdas paixões, nossos desejos inconscientes” (BACHELARD, 1996, p. 57).

Ainda sobre esse obstáculo, Bachelard atenta para a necessidade de o “[...] educador [...] destacar sempre o observador de seu objeto, defender o aluno [...] em certos fenômenos rapidamente simbolizados e, de certa forma, *muito interessantes*” (BACHELARD, 1996, p. 68). O que Bachelard destaca é o fato de que, em uma experiência que chama a atenção dos estudantes, como é comum na química, por exemplo, nos casos de mudança de cor ou liberação de gases, enfim, as evidências das reações químicas podem fazer com que os mesmos não pensem no que pode ter ocorrido ou aceitem rapidamente a primeira ideia que vem à mente sem discuti-la ou mesmo sem pensar em outras hipóteses.

O autor complementa, afirmando que, em uma aula experimental, é comum que o aprendiz se deixe levar pelos fenômenos interessantes e conclui que “[...] não é [...] de admirar que o primeiro conhecimento objetivo seja um primeiro erro” (BACHELARD, 1996, p. 68). Podemos observar, neste ponto, a vertente pedagógica do filósofo e o fato de que, nós, professores, devemos estar atentos no processo de ensino e aprendizagem, buscando sempre a superação dos obstáculos ao conhecimento.

1.2.2 Obstáculo epistemológico: Conhecimento geral

O obstáculo do conhecimento geral está relacionado ao que Bachelard considera como as primeiras generalizações que são feitas como consequência das primeiras observações ou da experiência primeira, e enfatiza: “[...] é preciso que o pensamento abandone o empirismo imediato” (BACHELARD, 1996, p. 25). Para ele, essa ideia de buscar uma doutrina geral foi o que mais prejudicou o progresso do conhecimento científico, uma vez que o imobilizou.

Bachelard também destaca a relação do conceito e da palavra, por meio do exemplo do *ar fixo*, estudado no século XVIII, que recebeu esse nome pela característica de estar fixo. Bachelard (1996, p. 86) afirma que “[...] o ar fixo encontra um nome muito geral na experiência particular da ação do anidrido de carbono sobre a água de cal”. Hoje, entende-se essa reação entre o dióxido de carbono (ou gás carbônico) com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que forma o carbonato de cálcio (CaCO_3). Desse modo, o nome “ar fixo” sugere que esse ar pode estar fixado na substância e ser liberado, por exemplo, por um processo de aquecimento ou ser fixado, como no exemplo da reação discutida anteriormente. Este é um dos vários exemplos históricos apontados por Bachelard em que a generalização não se aplica.

O autor defende que a ciência moderna é objetiva, ao invés de universal (BACHELARD, 1996). Com isso, entendemos que as generalizações devem ser feitas de modo muito cuidadoso, uma vez que, nas ciências naturais, cada caso é particular e tem características que podem interferir nos resultados e, por isso, é necessário refletir sobre a complexidade dos vários fenômenos para, assim, poder estabelecer generalizações. É nesse sentido que Bachelard discute que a ciência moderna é objetiva ao invés de universal.

A objetividade da ciência discutida por Bachelard é uma questão complexa, que não discutiremos com maior profundidade. Bertoche (2006), ao analisar a objetividade na ciência, de acordo com a filosofia de Bachelard, afirma:

A construção do objeto por intermédio da matematização como condição do conhecimento objetivo da *realidade* é um projeto que se constitui contra a ciência anterior (como a ciência clássica), contra a filosofia anterior (como a filosofia positivista), contra o pensamento anterior. Assumir os valores da objetividade contemporânea é assumir os valores simultaneamente realistas e racionalistas de uma construção epistemológica essencialmente não-discursiva; é assumir que o conhecimento humano tornou-se livre dos limites

epistemológicos clássicos, dos limites da sensibilidade da razão clássica (BERTOCHE, 2006, p. 88).

Assim, a matematização é o meio pelo qual a ciência se torna objetiva. Após sua análise, Bertoche (2006) afirma que a objetividade das ciências contemporâneas é uma objetividade matemática.

1.2.3 Obstáculo epistemológico: verbal

Acerca do obstáculo verbal, Bachelard (1996, p. 27) o define como “[...] a falsa explicação obtida com a ajuda de uma palavra explicativa”. Neste caso, seria um hábito de natureza verbal, em que “[...] uma única imagem, ou até uma única palavra, constitui toda a explicação” (BACHELARD, 1996, p. 91). O autor cita vários exemplos, principalmente do século XVIII, em que a palavra “esponja” é utilizada para explicar fenômenos, como os elétricos, mas que, na verdade, não há uma explicação racional a esse respeito.

Um exemplo histórico de Bachelard sobre obstáculo epistemológico apresentado pela imagem da esponja é o de Jean Henri van Swinder, paciente e hábil experimentador neerlandês, que teve dificuldade de livrar-se da imagem:

O *Recueil de Mémoires*, publicado sob o título de *Analogie de l'électricité et du magnétisme* em 1785 por J. H. van Swinder, é uma série de objeções contra as múltiplas analogias por meio das quais se pretendiam reunir, numa mesma teoria, a eletricidade e o magnetismo (BACHELARD, 1996, p. 96).

Van Swinder descreve, em *Analogie de l'électricité et du magnétisme*, ter examinado as experiências que pretendiam mostrar ser o ferro um condutor de fluido elétrico ou que é a *esponja* desse fluido. De acordo com Bachelard (1996, p. 97), “[...] a função do ferro que acaba de ser magnetizado é ‘transportar esse Fluido num lugar onde ele não estava, como a esponja mergulhada na água suga e transporta’”.

Após várias experiências, van Swinder rejeita essa intuição: “[...] a expressão ‘o ferro é uma esponja do Fluido magnético’ é portanto uma *metáfora* que foge à verdade” (VAN SWINDER, 1785, apud BACHELARD, 1996, p. 97). Em vista disso, Bachelard destaca que a

[...] função da esponja é de uma evidência clara e distinta, a tal ponto que não se sente a necessidade de explicá-la. Ao explicar os fenômenos por meio da palavra esponja, não se terá a impressão de fazer *teorias*, já que se trata de uma função toda experimental (BACHELARD, 1996, p. 91).

O problema discutido por Bachelard sobre o uso das imagens é que elas são resistentes no pensamento e podem impedir uma visão abstrata do fenômeno, como pode ser exemplificado por meio do uso das analogias, comumente utilizadas para discutir os modelos atômicos: o modelo de Dalton é comparado à bola de bilhar; o modelo de Thomson ao pudim de passas; o modelo de Bohr é também conhecido como modelo planetário, em uma analogia com o sistema solar. Nessas analogias, utilizam-se imagens familiares, buscando associá-las aos modelos, no entanto Bachelard (1996, p. 93) afirma que “[...] o acúmulo de imagens prejudica evidentemente a razão, no qual o lado concreto, apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais”.

Entendemos que o obstáculo verbal pode se fazer presente quando o estudante utiliza uma palavra ou imagem como forma explicativa de todo o fenômeno, mas sem necessariamente compreendê-lo no todo. Pode ocorrer, no processo de ensino e aprendizagem, que, ao ser questionado, o estudante apresente somente a palavra ou a imagem e não acrescente nenhuma discussão a respeito. Nesses casos, os professores aceitam como certa a analogia e não procuram compreender o que ela significa para o estudante. Por isso, Bachelard destaca a necessidade de problematizar as palavras e as analogias, como as citadas acerca dos modelos atômicos.

1.2.4 Obstáculo epistemológico: substancialista

Consideramos o substancialismo um obstáculo epistemológico que exige importante atenção, principalmente na química, uma vez que esta ciência busca compreender as substâncias e suas propriedades. Bachelard (1984, p. 31) afirma: “[...] a Química é evidentemente substancialista”.

Bachelard (1996) associa o substancialismo ao obstáculo realista, uma vez que a principal característica do obstáculo substancialista é a atribuição de qualidades (propriedades) como próprias das substâncias. Com isso, é fácil atribuir propriedades, mediante aquilo que se observa macroscopicamente.

Acerca do substancialismo, Bachelard afirma que se trata de um dos obstáculos mais difíceis de serem superados, visto que se baseia numa filosofia fácil e está centrada na “[...] explicação monótona das propriedades pela substância” (BACHELARD, 1996, p. 27). O obstáculo substancialista, “[...] como todos os obstáculos epistemológicos, é polimorfo. [...] Atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta” (BACHELARD, 1996, p. 121).

Bachelard (1996) salienta que, para o espírito pré-científico, as substâncias possuíam um interior e, portanto, para conhecê-las, é necessário abrir as substâncias: “[...] para o espírito pré-científico, a substância *tem um interior*, ou melhor, a substância é um interior. Muitas vezes a mentalidade alquímica foi dominada pela tarefa de *abrir as substâncias*” (BACHELARD, 1996, p. 123).

Um dos exemplos do pensamento substancialista do século XVIII citado por Bachelard (1996) é referente à cor das substâncias: “O mercúrio, embora branco por fora... é vermelho por dentro... A cor vermelha... surge quando ele é precipitado e calcinado ao fogo” (CROSSET DE LA HEAUMERIE, 1722 apud BACHELARD, 1996, p. 126). Para Bachelard, dizer o que a substância possui é característica do pensamento pré-científico.

Esse exemplo ilustra que o pensamento substancialista atribui às substâncias determinadas características, como, por exemplo, a cor, o cheiro, o sabor. Assim, Bachelard (1996, p. 140) define que o obstáculo “[...] substancialista é o acúmulo de adjetivos para um mesmo substantivo”, apontando que o progresso do pensamento ocorre quando se diminui o número de adjetivos de um substantivo.

Bachelard (2008, p. 41) discute que “[...] a história das relações experimentais estabelecidas entre a luz e as substâncias químicas [...] mostraria a falência dos métodos de Bacon e o perigo permanente do pensamento substancialista”. Nesse sentido, devemos entender as relações entre as substâncias e suas propriedades não como sendo próprias da substância, mas como resultado das interações que ela realiza, que, no exemplo citado por Bachelard, seria a interação com a energia.

Oliveira (1995) discute sobre o mito da substância e enfatiza o aspecto relacional, que é marca da química moderna: por exemplo, não se pode dizer que o ácido nítrico é sempre ácido, uma vez que o comportamento ácido é produto da relação estabelecida com o solvente. Em água, o ácido nítrico possui comportamento ácido, mas em ácido sulfúrico ele atua como base.

Desse modo, o substancialismo, ao atribuir como próprias das substâncias determinadas propriedades, pode levar ao erro, ao engano. Essa foi uma das grandes dificuldades da química. Entender que as propriedades são produto das relações é de extrema importância para o espírito científico.

1.2.5 Obstáculo epistemológico: realismo

O obstáculo realista está associado ao substancialismo e, conforme Bachelard (1996), esse obstáculo estaria associado ao *sentimento de ter*. O autor afirma que é “[...] no próprio ato de conhecer que devemos detectar o distúrbio produzido pelo sentimento predominante de ter” (BACHELARD, 1996, p. 165).

Para entendermos o realismo, devemos primeiramente questionar: o que é real? Ao discutir sobre o real, Bachelard destaca ser comum caracterizar como real apenas aquilo que podemos ver e observar macroscopicamente. Nesse caso, o real estaria relacionado ao conceito de espaço físico e de localização; por isso, o autor afirma: “[...] é no espaço também que ele (o realista) prova a objetividade do real” (BACHELARD, 2010, p. 7).

Assim, o realismo passa a associar-se ao estado concreto. Entretanto, quando pensamos no real científico, nem sempre lidamos com o macroscópico e é justamente neste ponto que o realismo pode obstaculizar o conhecimento, uma vez que, no nível microscópico, o real não pode ser associado a uma localização precisa; por isso, é um real abstrato, um real construído.

No nosso trabalho, esse obstáculo pode ser evidente quando o estudante toma o modelo de constituição da matéria como real, concreto, e não como uma abstração, como pode ser observado no uso exagerado de analogias, por exemplo, a bola de bilhar ou o grão de areia para definir o átomo. Além disso, o realista considera que se pode ver dentro de um átomo. Esse real no nível microscópico não pode ser entendido como real concreto, espacial, uma vez que os átomos são teorizados por meio de modelos representativos, fruto da abstração e da imaginação humana. Silveira (2003, p. 29), ao discutir sobre o real científico, destaca:

O Real – ‘Que existe de fato; verdadeiro. Aquilo que é real. Realidade’ – arraigado ao empirismo do primeiro olhar deixa de existir sob esta definição, quando mergulhamos no ‘submundo da matéria’, ou seja, no microscópico. O átomo, o elétron, o próton, entre outras partículas,

daquilo que seria pelo senso comum a *menor porção da matéria*, não possuem existência, forma ou lugar definido aos ‘olhos’ de um primeiro olhar, torna-se necessária a incorporação de técnicas (carregadas de teoria) e concepções teóricas (racionalização da estrutura da matéria) para compreender e detectar esta existência.

De acordo com o autor, o realismo obstrui a abstração e, com isso, as conclusões do realista são baseadas apenas naquilo que se observa macroscopicamente. Essa é a característica do realismo ingênuo, vinculado ao senso comum. O real científico é um real construído a partir da fenomenotécnica.

1.3 BACHELARD NO ENSINO E NA PESQUISA

Por sua vivência como professor, Bachelard desenvolveu uma vertente pedagógica e, em diversas obras, menciona algumas experiências vividas por ele. Com relação aos aspectos pedagógicos, Bachelard (1996) destaca que as aulas devem ser questionadoras, o que, a nosso ver, tira o professor da condição de transmissor de conhecimentos e exige dele uma postura de mediador no processo de ensino e aprendizagem, propondo questões que façam os estudantes refletirem sobre o conhecimento.

Nesse sentido, o filósofo questiona: “Criar – e sobretudo manter – um interesse vital pela pesquisa desinteressada não é o primeiro dever do educador, em qualquer estágio de formação?” (BACHELARD, 1996, p. 12). Entendemos que a pesquisa desinteressada seria a curiosidade e o desejo de aprender, independente de avaliação ou de formalidades comuns ao ensino. Faremos aqui um paralelo entre o pensamento de Bachelard (1996), quando preza a pesquisa desinteressada, e o pensamento de Freire (2011), que discute sobre a curiosidade e a criticidade, necessárias ao ensinar. Para Freire, é necessário transformar a curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica.

Segundo Freire (2011, p. 31), “[...] a curiosidade ingênua, de que resulta indiscutivelmente um certo saber, não importa que metodicamente desrigoroso, é a que caracteriza o senso comum” e essa “[...] curiosidade ingênua [...] criticizando-se, aproxima de forma cada vez mais metodicamente rigorosa do objeto cognoscível, se torna *curiosidade epistemológica*” (FREIRE, 2011, p. 33).

Se pensarmos nesta crítica, necessária para a transformação da curiosidade, entendemos ser nesse sentido que Bachelard defende que o ensino deve ser questionador. Ao questionar, o estudante é posto a pensar, a se tornar crítico e, com isso, pode-se pensar que esta seria uma forma de superar os obstáculos ao conhecimento.

Bachelard (1996) caracteriza a alma do professor, discutindo sobre o dogmatismo próprio da docência e destaca que o professor está “[...] repetindo ano após ano o seu saber, impondo suas demonstrações, voltada para o interesse dedutivo, sustentáculo tão cômodo da autoridade” (BACHELARD, 1996, p. 12).

Dessa forma, para que o processo de ensino e aprendizagem seja efetivo, o professor deve romper com essa cultura e questionar, debater e proporcionar a reflexão em sala de aula. A esse respeito, Bachelard (1996, p. 23) considera

[...] surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. [...] Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.

Se o professor estiver na posição de autoridade e não proporcionar o diálogo e a discussão, ou mesmo suprimir as questões dos estudantes, o processo de ensino e aprendizagem poderá ser comprometido, levando o estudante apenas à memorização de conhecimentos destinados ao momento em que será avaliado. Pouco depois, nada ou quase nada saberá sobre aquele conhecimento “avaliado”.

Podemos notar uma vertente do Bachelard pedagógico quando discute sobre a cultura experimental, evidenciando que não devemos adquirir tal cultura, mas mudá-la. Sua posição é de que, na vida cotidiana, temos a oportunidade de experimentar, observar, vivenciar experiências e que essas ações tornam-se uma cultura experimental, de certo modo baseada nas observações mais gerais, mais apressadas e que é necessário desenvolver o hábito de questionar essas primeiras observações, buscar a racionalização dos conhecimentos. Assim, Bachelard não é contra a cultura

experimental, mas contra a cultura da experiência primeira não problematizada. Bachelard nos atenta para o experimento sensacionalista.

Nesse processo, Bachelard enfatiza que o erro é de fundamental importância para o processo de ensino e aprendizagem. A psicologia do erro faz com que o espírito científico seja formado, de modo a romper com os primeiros erros. É comum que os erros iniciais deixem de ser questionados em sala de aula, podendo se tornar obstáculos epistemológicos, ou mesmo, quando o professor assume o papel de transmissor de conhecimento, esses erros nem chegam a aparecer, pois o estudante não tem a oportunidade de expor suas ideias e, conseqüentemente, seus erros já concretizados.

Bachelard (1996, p. 24) ainda destaca que a “[...] relação psicológica professor-aluno é muitas vezes relação patogênica. Educador e educando merecem uma psicanálise especial [...]”, sendo necessário conhecer o que o estudante traz para as aulas de ciências e discutir, questionar e investigar suas ideias, pois, por exemplo:

[...] se o professor de física fizesse várias sondagens psicológicas, ficaria admirado com a variedade de ‘racionalizações’ individuais para um mesmo conhecimento objetivo. Basta deixar passar algumas semanas depois da aula, para constatar essa individualização da cultura objetiva. Parece até que a imagem clara demais, assimilada depressa e com muita facilidade, atrai depois, no lento trabalho de individualização, uma nuvem de falsos argumentos. Conviria, por meio de frequentes retornos aos temas objetivos, deter as proliferações subjetivas. Há nesse caso todo um ensino recorrente, muito esquecido nos cursos secundários, e que nos parece indispensável para firmar a cultura objetiva (BACHELARD, 1996, p. 190).

Em uma aula em que não há questões e os conhecimentos são “facilmente” assimilados, há uma grande possibilidade de o estudante apenas aceitar a ideia, mas não aprendê-la. Em minha experiência pessoal como professora, tenho percebido que as questões surgem quando os estudantes estão acostumados a pensar sobre o que está sendo discutido e que, acima de tudo, se ele questiona, é porque acompanha e entende, ou está buscando entender, o que está sendo discutido e, por isso, questiona. Se a aula está silenciosa e parece que todos entendem facilmente, é possível e bastante provável que os estudantes não tenham entendido, mas aceitado a ideia discutida.

Um dos pontos que também é mencionado na obra de Bachelard é o fato de que, nas aulas de ciências, ensina-se o produto destas e não o processo que levou à

compreensão atual da ciência. Consideramos que esse é um ponto de extrema importância, pois entender o processo é mais valioso e rico para a formação do estudante do que memorizar produtos, uma vez que, com o passar do tempo, esses produtos podem tornar-se parte do processo. Com relação a esse aspecto, Bachelard (1996, p. 289) argumenta:

[...] sem dúvida, seria mais simples *ensinar só o resultado*. Mas o ensino dos *resultados* da ciência nunca é um ensino científico. Se não for explicada a linha de produção espiritual que levou ao resultado, pode-se ter a certeza de que o aluno vai associar o resultado a suas imagens mais conhecidas. É preciso 'que ele compreenda'. Só se consegue guardar o que se compreende. O aluno compreende do seu jeito. Já que não lhe deram as razões, ele junta ao resultado razões pessoais. É fácil, a um professor de física com um pouco de psicologia, ver — a respeito do problema aqui tratado — como 'amadurece' uma intuição não explicada. Assim, é comum, ao fim de algumas semanas, [...] a lembrança verbal da aula dá lugar [...] à lembrança trabalhada. [...] Quando o resultado correto se mantém na memória, é muitas vezes graças à construção de toda uma estrutura de erros.

Nesse sentido, é importante diminuir a quantidade de tópicos tratados como produto e apresentar menos tópicos como processo, com a presença de sua história, com maior profundidade. Esta reflexão nos atenta para a necessidade de dar tempo ao estudante, pois, como o próprio Bachelard afirma, cada um compreende do seu jeito. É comum ao professor não esperar o tempo suficiente para que o estudante responda e, conseqüentemente, acaba respondendo as próprias perguntas, não problematizando as concepções que os mesmos apresentam.

Em relação ao processo de formação de futuros professores de química, é relevante destacar que discutir o processo do desenvolvimento das ciências é também discutir aspectos relacionados à sua natureza, o que é muito importante para os professores em formação, uma vez que o modo como concebem a ciência certamente será como irão ensiná-la. A esse respeito, Bachelard faz uma reflexão interessante:

A nosso ver, o princípio *pedagógico* fundamental da atitude objetiva é: *Quem é ensinado deve ensinar*. Quem recebe instrução e não a transmite terá um espírito formado sem dinamismo nem autocrítica. Nas disciplinas científicas principalmente, esse tipo de instrução cristaliza no dogmatismo o conhecimento que deveria ser um impulso para a descoberta. Além disso, não propicia a experiência psicológica do erro humano (BACHELARD, 1996, p. 300).

Com relação à descoberta, Bachelard (1996) afirma ser comum que o professor substitua esse processo da descoberta por uma aula, na maioria das vezes, centrada na transmissão de conhecimentos direcionados a um estudante passivo. Ao contrário, em uma abordagem que privilegia discussões sobre os processos de descoberta, o estudante pode deixar de ser agente passivo e atuar ativamente no processo de construção de sua aprendizagem. Nesse sentido, a descoberta é o meio pelo qual o estudante vivencia as etapas da construção do conhecimento. O autor pontua que “[...] para ensinar o aluno a inventar, é bom mostrar-lhe que ele pode descobrir” (BACHELARD, 1996, p. 303). Sobre esse tema, Japiassú (1976, p. 75) afirma:

Durante sua longa carreira de professor, Bachelard procurou a todo custo, e demonstrou isso na prática, evitar o engodo do sadismo pedagógico, caracterizado pelo autoritarismo e pelo dogmatismo. Ele próprio foi muito menos alguém que *ensina* do que alguém que *desperta, estimula, provoca, questiona* e se deixa questionar. [...] vivenciou as dificuldades daqueles (seus alunos) que pretendia esclarecer ou libertar através do estudo de uma ciência em mutação, e não do ensino de uma doutrina científica dogmática. Para ele, a ciência não é algo que se conte, transmita ou imponha. Pelo contrário, é preciso que sua emergência seja vivida.

A vertente pedagógica de Bachelard tem se mostrado muito importante no campo do ensino das ciências. No Brasil, as primeiras pesquisas em ensino de química em que Bachelard se torna um referencial são da década de 1970 e 1980. Entre os pesquisadores brasileiros, podemos citar Hilton Japiassú (1976), Letícia Parente (1985, 1990), Alice Lopes (1990) e Renato Oliveira (1990), sendo que os três últimos desenvolveram seus estudos sob orientação de José Américo Motta Pessanha, autor da apresentação da obra *Os Pensadores: Bachelard*.

Japiassú (1976) discute sobre os aspectos gerais da epistemologia de Bachelard e alguns dos principais pressupostos do pensamento do filósofo, tais como sua pedagogia, epistemologia e alguns conceitos fundamentais. Desse modo, Japiassú, embora não tenha feito nenhuma pesquisa aplicada sobre o autor, discute aspectos fundamentais da epistemologia de Bachelard e se torna um referencial para as pesquisas posteriores.

Parente (1990) discute sobre *Bachelard e a Química no ensino e na pesquisa*. Esse livro é resultado da dissertação de mestrado realizada pela autora na Fundação Getúlio Vargas (FGV) no Rio de Janeiro, na área de Filosofia de Educação em 1985. Em seu livro, Parente (1990) faz uma revisão dos aspectos teóricos da epistemologia

de Bachelard e analisa livros didáticos e o processo do desenvolvimento de alguns conceitos químicos. Ao final, destaca a necessidade de os sindicatos, os conselhos e as sociedades da química discutirem os problemas profissionais comuns. Atualmente, as reuniões e os eventos científicos tornaram-se uma prática natural no âmbito acadêmico, em que são frequentes discussões a respeito de questões que permeiam os problemas e os encaminhamentos para o ensino de ciências, bem como para as outras áreas da ciência.

Destacamos também nesse período a pesquisa realizada por Lopes (1990), que investiga os obstáculos à aprendizagem química em livros didáticos de química em sua dissertação, desenvolvida sob coorientação de Letícia Parente. Dos resultados dessa pesquisa surgem publicações em que são discutidos os obstáculos animistas e realistas (LOPES, 1992) e o obstáculo verbal e o substancialista (LOPES, 1993a) em livros didáticos no período de 1931 a 1990. Além desses trabalhos, a autora também publicou um artigo em que discute as contribuições de Bachelard ao ensino de ciências (LOPES, 1993b) e outro, em que focaliza Bachelard como o filósofo da desilusão (LOPES, 1996). Esses trabalhos e outros mais recentes deram origem ao livro *Currículo e Epistemologia* (LOPES, 2007), que discute sobre o currículo de ciências, enfocando questões da epistemologia de Bachelard.

Outra referência que aborda o ensino das ciências químicas e físicas como o elo mais fraco da cadeia científica é Oliveira (1990). Em sua pesquisa, o autor discute sobre a natureza da ciência, enfatizando que a nova ciência precisa de uma nova filosofia, tal como a desenvolvida por Bachelard. Utilizando, principalmente a noção de perfil epistemológico de Bachelard, Oliveira (1990) investigou as zonas do perfil apresentadas por professores de química e física do Rio de Janeiro sobre a atividade científica, a natureza do conhecimento, a teoria científica, a relação sujeito/objeto e o método científico. Em suas considerações, o autor atenta para a lacuna existente na ciência e no ensino desta, evidenciando que o ensino, na perspectiva da memorização e do adestramento, não é adequado ao ensino de ciências.

As pesquisas nas quais Bachelard é um referencial teórico e/ou de análise têm sido cada vez mais frequentes. Podemos destacar algumas delas: Chagas (2002) investiga em seu mestrado os obstáculos epistemológicos acerca do conceito de reação química; Silveira (2003) analisa em sua pesquisa de mestrado o conceito de substância presente em livros didáticos do ensino fundamental; Martins (2004) elabora uma tese em que discute sobre o tempo e utiliza a noção de perfil epistemológico;

Melo (2005) utiliza-se em sua pesquisa de mestrado da epistemologia histórica de Bachelard; Maluf (2006) destaca as contribuições da epistemologia de Bachelard ao ensino de ciências em uma tese que discute sobre astronomia; Souza (2008) investiga em seu estudo de mestrado o perfil epistemológico de tempo; Lino (2010) utiliza os pressupostos bachelardianos para investigar o processo de ensino e aprendizagem em sua dissertação; Suart Junior (2010) discute em sua pesquisa de mestrado sobre a dialética do conhecimento científico baseado na epistemologia de Bachelard; Bernardino (2010) analisa os obstáculos epistemológicos presentes em um livro de química em seu mestrado; Ferreira (2013) elabora em sua pesquisa de mestrado uma produção sobre a perspectiva histórica do atomismo e discute as noções de Bachelard; Pessanha (2014) investiga os obstáculos epistemológicos e pedagógicos acerca de conceitos da física moderna em sua pesquisa de doutorado.

A partir desta breve revisão das pesquisas, entendemos que a epistemologia de Bachelard é adequada ao ensino de ciência, tanto por sua vertente pedagógica como científica. Bachelard foi um grande filósofo do século XX, e sua aproximação com a educação e a ciência trouxe muitas contribuições para sua epistemologia.

1.4 O ÁTOMO NUMA VISÃO BACHELARDIANA

Bachelard viveu no período de transição entre a ciência clássica e a quântica e discute sobre tais aspectos em diversas obras. Em *Pluralismo coerente da química moderna*, Bachelard (2009) apresenta o desenvolvimento do pensamento científico, no que se refere ao átomo. O autor defende que não se trata de um livro de história da química, mas de um ensaio de filosofia química, na qual os argumentos foram tirados de fatos históricos. No início de sua obra, aborda o problema filosófico da diversidade e afirma que

[...] para um estudo sistemático da diversidade material, o conceito de átomo tem grande vantagem [...]. As doutrinas atomísticas mostram, no mínimo, que os átomos são suscetíveis de composição, visto terem sido obtidos por decomposição (BACHELARD, 2009, p. 18).

Em seu livro *As intuições atômicas*, Bachelard (1933 apud LECOURT, 1977, p. 50-51) destaca

[...] o que faltou aos atomistas dos séculos passados para merecer o nome de axiomática foi um movimento verdadeiramente real na composição epistemológica. De fato, não basta postular, com a palavra átomo, um elemento indivisível para pretender ter posto na base da ciência física um verdadeiro postulado. Seria preciso [...] encontrar meios de combinar os caracteres múltiplos e construir, mediante essa combinação, fenômenos novos. Mas como se teria a possibilidade dessa produção, visto que se pensa, quando muito, apenas em provar a *existência* do átomo postulado, ou concretizar uma suposição? A teoria filosófica do átomo estanca as questões; ela não as sugere.

Para Bachelard, as primeiras teorias atômicas tinham sua maior preocupação na explicação de como o átomo seria e se, de fato, poderia ser provada sua existência. Com isso, a ideia de que a matéria seria constituída por átomos foi por muito tempo rejeitada pela comunidade científica, uma vez que “[...] não havia nenhuma prova direta de que o átomo tivesse uma estrutura; não existia nenhuma experiência cuja aplicação necessitasse da hipótese segundo a qual um átomo é divisível em partes” (CAMPBELL, 1924 apud BACHELARD, 2009, p. 140).

Bachelard (2009) discute sobre a característica elétrica dos átomos, por meio do trabalho de J. J. Thompson e a “descoberta”⁷ do elétron, afirmando que, com os fenômenos elétricos, foi possível mostrar a complexidade do átomo de hidrogênio e dos outros átomos, fato que não era possível, uma vez que “[...] antes da descoberta do elétron fora possível imaginar uma complexidade interna do átomo, mas era uma obra imaginativa, estética” (BACHELARD, 2009, p. 140).

É importante ressaltar que o nome elétron foi proposto por um contemporâneo de J. J. Thompson chamado George Johnstone Stoney (PULLMAN, 1998 apud FERREIRA, 2013), mas quando J. J. Thompson postula a existência de cargas no átomo, ele a chama de corpúsculo.

Bachelard (2009) mostra que a descoberta do elétron envolveu uma nova epistemologia, que uniu a teoria e a experimentação, e o problema era justamente provar empiricamente a existência do átomo. Para mostrar a ruptura entre as formas de experimentação, Bachelard (2009), por meio de J. J. Thompson, discute questões

⁷ Neste caso, o termo descoberta está entre aspas, uma vez que a ideia de o átomo possuir elétrons compõe uma forma de pensar, e como não havia provas diretas de sua existência, ao invés de descoberta, podemos pensar na proposição de um modelo atômico com o elétron como constituinte.

a respeito da diferença de interpretação, de acordo com a ordem de precisão das medidas.

Os progressos realizados ao considerar o átomo eletrizado [...] devem-se ao fato de que um átomo não eletrizado nos engana tão bem que, enquanto o número de átomos não ultrapassar 1 bilhão, não temos nenhum meio sensível para constatar sua presença; [...] O átomo ou a molécula eletrizada, porém, é bem menos discreto, a tal ponto que foi possível, em alguns casos, detectar a presença de um único átomo eletrizado; (THOMPSON, 1919 apud BACHELARD, 2009, p. 141).

Com relação ao átomo eletrizado, na década de 1930, Bachelard argumenta que, na química contemporânea, cada vez mais, os cátions e os ânions foram considerados elementos explicativos das reações químicas. A esse respeito, o autor destaca que basta uma consulta a “[...] um livro didático [...] para ver a novidade e a simplicidade que as considerações elétricas trazem à coordenação das experiências químicas” (BACHELARD, 2009, p. 141).

Bachelard destaca que a experiência elétrica pode estar no nível de um átomo, mas que, para isso, “[...] era preciso encontrar meios, métodos, aparelhos apropriados às pesquisas atômicas e subatômicas” (BACHELARD, 2009, p. 143). Nesse contexto, os tubos a vácuo de Crookes poderiam ser os mais indicados para facilitar essas pesquisas, uma vez que neles ter-se-ia um estado rarefeito que poderia ser um quarto estado da matéria: o estado irradiante. No entanto, Bachelard afirma que, mesmo nessas experiências balísticas, o número de átomos ainda era enorme. Nesse sentido, é importante discutir sobre uma das características que Bachelard atribui às ciências contemporâneas: a produção de fenômenos por meio de equipamentos modernos, intitulada por ele de fenomenotécnica, e não mais a pura e simples observação de fenômenos da natureza. Assim, o real atômico não é visível, mas construído pela observação indireta.

Além do experimento acima citado, os experimentos acerca da condutibilidade foram importantes para a compreensão da característica elétrica do átomo: observou-se que os raios X e o rádio descarregavam um eletroscópio, e o aparelho se tornava um bom condutor de eletricidade. Então, ficou provado que os elementos eram produzidos no interior do próprio gás pelo efeito da radiação. Acerca desses resultados, Bachelard discute a experiência por meio da explicação de Millikan, que a considerou como um ponto essencial para a ciência, uma vez que

Até então, o único modo de ionização conhecido era o que se podia observar em solução. Neste caso, trata-se sempre de uma molécula⁸ complexa como, por exemplo, o cloreto de sódio (NaCl), que se separa espontaneamente em dois íons [...]. A ionização produzida nos gases pelos raios X era de espécie bem diferente, pois ela podia ser observada em gases como azoto [nitrogênio] e o oxigênio, e até em gases monoatômicos, como o argônio e o hélio. Ficou claro que os constituintes de um átomo neutro [...] deviam ser minúsculas cargas elétricas. Tínhamos a primeira prova direta, primeiro, de estrutura do átomo; segundo, de que cargas elétricas entram em sua constituição. Essa descoberta, nascida diretamente do emprego de um agente novo, os raios X, desacreditava para sempre a teoria da inescapabilidade do átomo e inaugurava a era do estudo dos constituintes do átomo (MILLIKAN, 1917 apud BACHELARD, 2009, p. 145).

Uma das consequências dessas descobertas é a de que a indivisibilidade do átomo é deixada para trás, uma vez que o átomo pode ser “quebrado”, e tornou-se possível estudar suas partes constituintes, como revelam os experimentos promovidos por J. J. Thompson em 1897, nos quais utiliza o método de desvio por um conjunto de campos elétrico e magnético, e verifica que a partícula negativa tinha uma massa mil vezes menor do que a massa do átomo de hidrogênio (BACHELARD, 2009). Pode-se, assim, afirmar que “[...] com o elétron, a explicação científica *ultrapassou o realismo*, por assim dizer, no sentido de ter assimilado o real ao racional” (BACHELARD, 2009, p. 150). Com isso, o conceito de átomo passou a ser domínio da razão e não mais do realismo. Essas experiências, de acordo com Bachelard (2009), são as primeiras determinações experimentais do elétron.

Bachelard (2009) analisa os modelos de átomo em que os elétrons estão parados, chamando-os de modelos estáticos, assim como os modelos de átomo em que os elétrons estão em movimento, chamando-os de modelos cinéticos. Acerca do primeiro, discute sobre o modelo atômico proposto por J. J. Thompson.

Consideremos primeiro o átomo estático de J. J. Thompson. Vejamos as dificuldades que esse modelo apresenta. Antes de tudo, reconhece-se que num tal átomo se devem encontrar, de um lado, corpúsculos carregados de eletricidade positiva e, de outro, corpúsculos carregados de eletricidade negativa. Ora, desde Coulomb sabe-se que cargas de nomes contrários se atraem na razão inversa do quadrado da distância. Para as distâncias interatômicas, muito pequenas, a força de atração deve ser enorme. As cargas devem portanto vir ao

⁸ Esta citação foi feita por Millikan em 1917 e, naquela época, o cloreto de sódio era entendido como uma molécula. Atualmente, entende-se que o cloreto de sódio (NaCl) é um composto iônico e não uma molécula.

contato e talvez se percam para sempre uma na outra, neutralizando-se definitivamente. [...] logo se percebe uma contradição (BACHELARD, 2009, p. 153).

Nota-se que Bachelard faz uma análise crítica sobre o modelo de Thompson, que, se problematizada em sala de aula, poderia dar subsídios para os estudantes pensarem sobre os motivos que levaram o modelo de Thompson a ser superado.

J. J. Thompson busca resolver o problema acerca da atração das cargas opostas, acrescentando uma força repulsiva entre as cargas iguais: “[...] nas pequenas distâncias, é a repulsão que predomina e impede o contato dos corpúsculos” (BACHELARD, 2009, p. 154). Além disso, a noção de valência também é discutida por J. J. Thompson. Conforme Bachelard (2009, p. 155-156),

[...] a linha de evolução do pensamento de J. J. Thompson leva naturalmente a prever átomos com número crescente de elétrons. Mas considerando átomos com um número cada vez maior de elétrons, segundo as hipóteses de J. J. Thompson chega-se a um momento em que já não se podem dispor todos os elétrons no topo de um poliedro. [...] é possível colocar até oito elétrons simetricamente e à mesma distância do centro. [...] a partir do nono elétron, uma nova órbita se desenvolveria de acordo com as mesmas regras da primeira [...]. Com o décimo sétimo começa necessariamente uma terceira órbita. [...] Se agora se admitir que as propriedades químicas dependem da camada externa do átomo, explica-se a periodicidade dessas propriedades pelo ritmo de oito elementos. [...] É possível dizer que a dedução de J. J. Thompson determina pela primeira vez uma raiz matemática para a lei de Mendeleev.

O modelo de Thompson foi elaborado de tal modo que, em 1914, esse cientista havia construído uma teoria de valência com os períodos de oito elétrons (BACHELARD, 2009). Se pensarmos na analogia “pudim de passas”, não há dúvidas de que essa metáfora empobrece a ideia originalmente proposta por J. J. Thompson. Lopes e Martins (2009), após analisarem os textos originais de J. J. Thompson, afirmam que tal analogia, apresentada em muitos livros-textos, inclusive no ensino superior, não é pertinente para retratar o modelo de Thompson.

Acerca do modelo cinético, Bachelard (2009) apresenta o exemplo clássico do átomo de Rutherford, no qual

A experiência que serve de ponto de partida é o estudo das trajetórias dos raios X expulsos pelo rádio quando essas trajetórias atravessam diferentes meios. Grande número de partículas α atravessam sem

nenhum desvio películas metálicas de vários centésimos de milímetros de espessura, o que prova o caráter lacunar dos átomos. [...] A partir dessa simples experiência, já não se pode atribuir ao átomo a característica compacta que era tão natural na hipótese primitiva do átomo indivisível. Essa experiência marca portanto um momento decisivo da evolução das ideias atomísticas (BACHELARD, 2009, p. 161-162).

O experimento discutido por Bachelard aparece com bastante frequência nos livros de química, contudo o próprio Bachelard tece considerações sobre o porquê de tal modelo não se sustentar. O autor afirma que a explicação facilitada pelo modelo de Rutherford leva a um obstáculo que parecia intransponível. Nas palavras de Bachelard (2009, p. 164), “[...] do momento que se postula que o elétron gira com rapidez prodigiosa em torno do núcleo, cabe concluir que o elétron emite ondas magnéticas”.

Dessa forma, a questão proposta por Bachelard seria: como os elétrons irão reagir à perda de energia causada pela emissão da radiação? E argumenta que se o elétron, conforme emite radiação, perde velocidade, chegará a um ponto em que diminuirá a força, aproximando-se do núcleo. Se isso ocorresse, a emissão de radiação deveria ser contínua, no entanto a experiência contradiz esse fato, uma vez que os espectros obtidos tinham aspecto de linhas e não contínuo. Nesse ponto, Bachelard (2009, p. 165) argumenta que “[...] ou é preciso renunciar ao átomo cinético, ou é preciso retirar o movimento do elétron das regras da eletrodinâmica clássica”. Assim, explica que

[...] na física é o infinitamente pequeno que contradiz a experiência comum, é o espontâneo que exige leis especiais que divergem nitidamente dos fenômenos registrados por nossos instrumentos, fenômeno talvez menos livres no sentido em que são solidários às divisões impostas por nossa técnica (BACHELARD, 2009, p. 165).

Diante desse cenário, uma nova forma de pensar é necessária para compreender o mundo atômico e, de acordo com Bachelard, a teoria de Bohr buscava essa explicação, mas “[...] na base da teoria atômica de Bohr encontra-se [...] um conjunto muito desajustado de suposições” (BACHELARD, 2009, p. 167), uma vez que “[...] as órbitas de Bohr estão separadas por um *nada* energético” (BACHELARD, 2009, p. 170).

Bohr propõe uma condição algébrica para a radiação e afirma que os valores de energia do elétron sobre duas órbitas estáveis, entre as quais ocorre o salto, são iguais aos valores da constante de Planck⁹ multiplicado pela frequência da radiação que se propaga. Essa fórmula¹⁰ passa a ser a chave para o mundo atômico (BACHELARD, 2009).

Após esclarecer problemas espectrais, chega-se à teoria quântica dos fenômenos químicos (BACHELARD, 2009). Na descrição dessa teoria, Bachelard mostra o problema da localização do elétron em sua obra *A experiência do espaço na física contemporânea* e explica o princípio da incerteza.

Por exemplo, se quisermos ver onde está o corpúsculo, temos de iluminá-lo. Para a região onde se pressente a presença de um corpúsculo em um dado momento dirige-se então um feixe de luz, um feixe de fótons. Pode-se esperar que um dos fótons seja desviado por um dos corpúsculos; o desvio do fóton, provocado pelo choque com o corpúsculo indicará a presença de corpúsculos na região bombardeada. [...] Após o choque, o corpúsculo terá saído da célula de localização? (BACHELARD, 2010, p. 27 – 28).

Assim, determinar com precisão a localização do elétron não seria possível e Heisenberg postula um princípio no qual afirma que “[...] é preciso ligar a incerteza do lugar com a incerteza do momento cinético medido ao longo desse eixo” (BACHELARD, 2010, p. 30), postulando a expressão¹¹ na qual a incerteza sobre a coordenada (Δx) multiplicada pela incerteza sobre o momento cinético (Δp) é igual à constante de Planck, frequente nas explicações da microfísica. Se calcularmos a incerteza na posição do elétron, esse valor seria maior do que o tamanho do próprio átomo (BROWN, 2005).

Portanto, a ideia das camadas fixas, ou seja, as órbitas de Bohr, não poderia mais explicar o comportamento do elétron no átomo. A partir desse contexto, surge o conceito dos orbitais atômicos, que passam a ser caracterizados por três números quânticos, discutidos por Bachelard e ilustrados na figura 1.

⁹ A constante de Planck, representada por h , equivale a $6,62606957 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$.

¹⁰ $W - W' = hv$, em que W e W' representam valores da energia do elétron sobre cada uma das órbitas estáveis entre as quais ocorre o salto, h a constante proposta por Planck no problema da radiação do corpo negro e v a frequência da radiação que se propaga [...] em consequência da contração energética do átomo (BACHELARD, 2009, p. 172).

¹¹ $\Delta x \times \Delta p \geq h$, sendo Δx a incerteza sobre a coordenada, Δp a incerteza sobre o momento cinético e h a famosa constante de Planck que se insere em todos os fenômenos microfísicos, sem exceção (BACHELARD, 2010, p. 30).

Figura 1 - Quadro proposto no livro *O Pluralismo Coerente da Química Moderna* para explicar quantos elétrons cada período comporta

Camadas	K	L	M	N
n	1	2	3	4
l	0	0 1	0 1 2	0 1 2 3
$2(2l + 1)$	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14
Número máximo de elétrons	2	8	18	32

Fonte: Bachelard (2009, p. 197)

Atualmente, é possível afirmar que a ideia discutida por Bachelard pode ser subentendida como o que é chamado de distribuição eletrônica. Sobre esse aspecto, Bachelard (1988, p. 41-42) explica que

Ao invés de ligar diretamente ao elétron propriedades e forças, vai-se ligar-lhe números quânticos e, segundo a repartição desses números, deduzir-se-á a repartição dos lugares dos elétrons no átomo e na molécula. [...] Quatro números quânticos bastarão para dar a individualidade do elétron. [...] no átomo, nenhum elétron terá o direito de se atribuir exatamente o mesmo complexo de quatro números quânticos que caracteriza um outro elétron. [...] É graças a essa diferenciação numeral que o elétron terá seu papel bem fixado no átomo.

À ideia de que os quatro números quânticos definem o elétron no átomo deve ser atribuída uma característica probabilística, ou seja, embora possamos pensar em regiões de maior probabilidade onde o elétron esteja, nunca é uma posição exata, nunca é algo definitivo, mas probabilístico.

A teoria quântica fez com que a química se distanciasse ainda mais do empirismo, levando a um racionalismo que deve ser característico do pensamento moderno (BACHELARD, 2009). Nesse sentido, vale destacar que “[...] a exploração do mundo dos átomos feita neste século [XX] praticamente não tem paralelos na história da ciência, no que concerne ao progresso do conhecimento e ao domínio da natureza de que nós mesmos somos parte” (BOHR, 1995, p. 105). De acordo com

Bohr (1995), a ciência atômica mostrou ao homem uma lição de natureza geral que tratou de problemas profundos do conhecimento.

Corroborando essa ideia, Bachelard traz uma reflexão muito interessante acerca da compreensão atual do conceito de átomo.

Por que desejamos conhecer o número de elétrons de um átomo? Apenas esse número não nos fornece nenhum conhecimento positivo, já que nesse número *oculto* um simples caráter *descritivo* é evidentemente ilusório. Se contamos os elétrons, é para explicar indiretamente fenômenos que têm origem no domínio intra-atômico. É preciso, por exemplo, utilizar o número de elétrons para determinar o balanço energético do átomo. Mas o levantamento atômico não pode ser feito de acordo com as regras da contabilidade comercial. Os elétrons têm valores que mudam com a sua localização. É-se levado a postular *operadores* um pouco menos simples e um pouco mais sintéticos que o sinal de *mais* ou que o sinal de *menos* da soma e da subtração usuais. Subtrair é ionizar (BACHELARD, 2008, p. 20).

Ao afirmar que o elétron tem valores que mudam com a localização, Bachelard nos atenta para a característica probabilística da localização e do comportamento dual do elétron. Assim, ocorre o que Bachelard (1988, p. 41) afirma ser a “[...] passagem do plano realista ao plano da matemática probabilística [...]”, quando discute sobre a organização eletrônica. Ao experimentar o elétron, ora ele pode ser percebido como onda, ora como corpúsculo, ora está aqui, ora está ali, sua definição não é determinista, mas indeterminista.

Bachelard (2009, p. 206) reflete sobre o pluralismo químico e considera que “[...] é pela matemática que se pode explorar o real até o fundo de suas substâncias e em toda a extensão de sua diversidade. Na ciência contemporânea delinea-se o panorama matemático da matéria”. Desse modo, a química, uma ciência que tem seus primórdios no realismo e no empirismo, passa a ser descrita pelo racionalismo.

Compreender o átomo de acordo com a teoria moderna não é uma tarefa fácil e, nesse processo, podem surgir algumas noções-obstáculos. Bachelard discute sobre duas noções-obstáculos: o coisismo e o choquismo, ideias que estão associadas às experiências comuns. Assim, pensando que o conhecimento da teoria atômica moderna rompe com o conhecimento de senso comum, podem surgir obstáculos epistemológicos acerca desse conceito.

A noção de que o átomo seja constituído por corpúsculos deve ser problematizada, visto que essa palavra pode indicar o corpúsculo como algo minúsculo. De acordo com Bachelard,

[...] *o corpúsculo não é um corpo minúsculo*. O corpúsculo não é um fragmento de substância. [...] Quando a química teórica formulava a noção de átomo, despojava o átomo de muitas de suas propriedades afirmadas pela experiência vulgar (BACHELARD, 1951 apud LECOURT, 1977, p. 52).

Se o corpúsculo não é minúsculo, Bachelard afirma que seria possível apenas atribuir uma ordem de grandeza, uma vez que não possui dimensões absolutas determináveis e, conseqüentemente, uma forma determinável. Em suas palavras, “[...] *o elemento não tem geometria*. Esse fato deve ser posto na base da filosofia corpuscular moderna. É de grande novidade filosófica” (BACHELARD, 1951 apud LECOURT, 1977, p. 54).

Como consequência, Bachelard argumenta ser necessário pensar de outro modo diante de uma nova filosofia científica, pois se “[...] os átomos eram concebidos então como pequenos sólidos, como pequeninas coisas. O atomismo era a doutrina, por excelência, das coisinhas. A aniquilação do corpúsculo consagra, ao que parece, a falência do coisismo” (BACHELARD, 1951 apud LECOURT, 1977, p. 56-57).

A palavra coisa, portanto, carrega um excesso de imagens e deve ser destituída das suas propriedades espaciais, definindo o corpúsculo como uma coisa não coisa. Segundo Paiva (2005, p. 45), “[...] afirmar o corpúsculo como não coisa equivale, enfim, a sustentar que ele não possui forma”. Desse modo, pode-se afirmar que Bachelard quer nos chamar atenção para o fato de que, para compreender a noção moderna de átomo, deve-se abandonar a experiência espacial, geométrica, uma vez que, no nível microscópico, não podem ser aplicadas as mesmas leis que existem no macroscópico, e é justamente neste ponto que o autor afirma ser o elétron uma não coisa. A noção de coisismo pode ser ilustrada por meio da discussão que Bachelard faz a respeito do experimento de Millikan:

Ao observar ao microscópio o movimento de uma gota de óleo condensada sobre um elétron, determina-se, pela ação de um campo elétrico e da gravidade, as duas características do elétron, sua massa e sua carga. Essa experiência delicada parece primeiro o triunfo do ‘coisismo’ científico. Mas, examinado melhor o problema filosófico, percebe-se que o elétron livre é de fato o elétron sem propriedades

atômicas. O que nos interessaria seriam sobretudo as propriedades do elétron ligado, do elétron posto em relação com o próton. A experiência de Millikan é portanto uma experiência ainda do nosso mundo porque é tirada da perspectiva matemática do mundo atômico. Ao deixar o átomo, o elétron livre deixou a matemática do átomo. A experiência de Millikan não nos autoriza a postular no átomo as leis aritméticas verificadas fora do átomo (BACHELARD, 2008, p. 18).

Em outra obra, Bachelard também comenta sobre essa experiência e diz que o método de Millikan é surpreendente, pois o pesquisador escolhe um único átomo entre todos: “Esse átomo está sob a total dependência do pesquisador: ele é elevado ou abaixado, seu movimento é retardado ou acelerado, fica imobilizado quanto tempo se desejar” (BACHELARD, 2009, p. 146). E o filósofo afirma que, nessa experiência, o físico brinca com o elétron como se fosse uma bola, acentuando uma afirmação realista da carga elétrica, e conclui que “[...] nunca se poderá *ver* um átomo e a *fortiori* nem uma parte do átomo, já que a contextura do olho implica que sua função seja inelutavelmente grosseira” (BACHELARD, 2009, p. 146).

Além do coisismo, Bachelard atenta para o que chama de choquismo, ou seja, a ideia de que, para que haja interação entre dois corpos, é necessário haver um choque entre eles. Se pensarmos na definição moderna, não se pode ter certeza da posição de um elétron, por isso será menos provável pensar em choques.

De fato, a noção de corpúsculo definido como ‘um pequeno pedaço de espaço’ nos conduziria a uma física cartesiana, a uma física democriteana *contra* as quais é preciso pensar se quisermos enfocar os problemas da ciência contemporânea. A noção de corpúsculo concebido como um pequeno corpo, a noção de interação corpuscular concebida como o choque de dois corpos, eis exatamente *noções-obstáculos*, noções de cessa-cultura, contra as quais devemos nos prevenir (BACHELARD, 1951 apud LECOURT, 1977, p. 59).

Bachelard claramente diz que pensar o átomo como algo pequeno caracteriza um obstáculo epistemológico, levando-nos a refletir que, no âmbito do ensino de química, devem-se discutir tais aspectos, uma vez que pensar o átomo como algo pequeno pode ser fruto do senso comum, algo fácil de se pensar e que pode interferir no processo de ensino e aprendizagem.

1.5 O ENSINO E A PESQUISA SOBRE O CONCEITO DE ÁTOMO

No âmbito do ensino e da pesquisa em ensino de ciências, há vários pontos que podem ser discutidos acerca do atomismo, um dos quais busca levantar as concepções dos estudantes e quais são os conceitos que causam maior dificuldade na aprendizagem da noção de átomo.

Uma das questões mais discutidas por diversos autores (MELO; LIMA NETO, 2013; GUEVARA; VALDEZ, 2004) é sobre a necessidade de utilizar modelos para compreender o átomo. De acordo com Guevara e Valdez (2004), um modelo é caracterizado como uma construção imaginária e, portanto, pode causar dificuldades associadas ao processo de ensino e aprendizagem. Desse modo, os autores fazem algumas recomendações para discutir modelos no ensino de química, entre as quais destacamos:

- Os professores devem checar regularmente como os estudantes “visualizam” as analogias e metáforas comumente empregadas em livros e em sala de aula;
- Deve-se explicitar claramente a natureza dos modelos com os quais está trabalhando como ferramenta para a construção de conceitos;
- Deve-se sempre analisar a validade e a conveniência da utilização de um modelo;
- Os professores devem estar atentos à evolução dos estudantes no processo de ensino e aprendizagem e quanto ao uso de metáforas e analogias no ensino de química.

Melo e Lima Neto (2013) afirmam que muitos estudantes e, mesmo professores, pensam que o átomo foi descoberto e não que sua teoria foi desenvolvida, o que pode atribuir uma realidade concreta inexistente no nível atômico. Os autores citam Pimentel e Spratley (1971, p. 112 apud MELO; LIMA NETO, 2013, p. 112-113), que afirmam:

As partículas que mencionamos não podem ser vistas. Os químicos falam de átomos e moléculas como se eles tivessem inventado (e inventaram). Raramente se menciona que átomos e moléculas são

apenas modelos, criados e imaginados para serem similares às experiências realizadas nos laboratórios.

Os autores ainda argumentam que os livros didáticos geralmente apresentam a sequência modelos atômicos, tabela periódica e ligação química sem estabelecer relações entre eles e de modo totalmente fragmentado, destacando que os livros tradicionais não permitem ao estudante “[...] utilizar um modelo conceitual e abstrato para compreender fenômenos macro (real e prático)” (MELO; LIMA NETO, 2013, p. 113).

García-Carmona (2006) investigou os níveis de compreensão dos estudantes do ensino médio acerca da estrutura eletrônica dos átomos, tendo como objetivos identificar o nível de aprendizagem alcançado pelos alunos, quais as formas de raciocínio dos estudantes e se tais ideias apresentavam estabilidade. O autor utilizou propostas de sete atividades de ensino e aprendizagem que investigavam tais aspectos.

De acordo com García-Carmona (2006), as respostas dos alunos foram classificadas em quatro níveis: no primeiro nível, a resposta não havia sido dada; no segundo nível, a resposta é considerada errônea ou confusa; no terceiro nível, a resposta está correta, porém sem justificativa adequada ou feita de maneira incompleta; e no quarto e último nível, a resposta está adequada e justificada corretamente.

Após a análise das respostas, em que a maior parte delas se enquadrava no terceiro nível, o autor considerou que “[...] os alunos são capazes de reconhecer a estrutura eletrônica dos primeiros elementos da tabela periódica, compreender o comportamento metálico e não metálico deles pelo número de elétrons da última camada (camada de valência)” (GARCÍA-CARMONA, 2006, p. 420, tradução nossa). Assim, entende-se que os estudantes possuem os conhecimentos necessários para compreender outros conceitos, como o de ligação química.

O autor faz um levantamento das concepções alternativas mais relevantes dos estudantes na faixa etária de 14 a 15 anos, apresentadas a seguir:

- Os estudantes confundem, com relação ao estado elétrico, os termos “ter carga” e “estar carregado”;
- Pensam que a neutralidade é concebida como um estado elétrico e que ocorre pelo fato de existir carga positiva e negativa simultaneamente;

- Confundem neutralidade elétrica de um átomo com estabilidade química, por meio da regra do octeto;
- Os alunos têm a tendência de pensar que a estabilidade atingida por meio da regra do octeto ocorre sempre com o ganho de elétrons;
- O caráter metálico é associado ao número de elétrons que o elemento necessita para completar o octeto, ganhar ou perder e adquirir a estabilidade;
- A identificação do caráter metálico de um elemento está centrada no número de elétrons total que o elemento possui e não no número de elétrons na camada de valência, assumindo que um metal possui um número grande de elétrons;
- A compreensão do fato de os semimetais terem quatro elétrons de valência, para os alunos, é por terem propriedades de metais e não metais, sendo intermediários.

Uma das formas de lidar com essas dificuldades e concepções alternativas dos estudantes é a utilização de história da ciência no ensino de ciências, uma vez que a mesma é um pensamento estrutural para a compreensão do conhecimento científico. Pinheiro, Costa e Moreira (2011) apresentam um material de apoio ao professor de física, que, a nosso ver, também é importante na área da química, sobre os modelos atômicos no desenvolvimento histórico. Utiliza-se um texto para discussão dos modelos atômicos, no qual os autores propõem roteiros de discussão e atividades. Ao final do processo de discussão de conceitos científicos e filosóficos, cada estudante constrói um mapa conceitual, de modo que se torna possível entender a concepção dos estudantes após as discussões acerca de aspectos históricos e filosóficos sobre os modelos atômicos.

Oki (2009) discute sobre algumas controvérsias do atomismo no século XIX que levaram a duvidar da existência dos átomos ou a tentar provar que eles existem.

Também pode-se destacar a pesquisa de mestrado realizada por Ferreira (2013), que apresenta o resgate histórico das teorias atômicas em uma produção de cerca de trinta páginas para ser utilizado no ensino de química. Esse material foi analisado por alguns avaliadores da área de ensino de química, os quais sugerem que ele pode ser utilizado tanto no ensino médio quanto no superior, devido aos aspectos

abordados. A importância do material é a discussão que propõe sobre o intervalo entre a proposição dos modelos gregos e do modelo de Dalton, que normalmente não é explicado nos livros didáticos.

No bojo dessas discussões, consideramos que a utilização da história da ciência pode contribuir com diversos aspectos na formação inicial de professores, como aqueles relativos à natureza da ciência. Na pesquisa de Ferreira (2013), há também uma análise da obra *As Intuições Atômicas* de Bachelard, ainda não traduzida para o português. Utilizando-se de fatos históricos, Bachelard propõe em *As Intuições Atômicas* quatro tipos de atomismos: o realista, o positivista, o criticista e o axiomático, discutidos no Quadro 1. Nessa obra, Bachelard argumenta que o atomismo surgiu por meio da observação do fenômeno do espalhamento da poeira, que levou à noção de que a matéria poderia ser formada por pequenas partículas.

Quadro 1 - Atomismo realista, positivista, criticista e axiomático discutido por Bachelard em *As Intuições atômicas*

No **atomismo realista**, Bachelard discute sobre como o atomismo foi discutido na Grécia Antiga, principalmente por Demócrito, que atribui a qualidade de áspero aos átomos de um corpo áspero, átomos lisos em um material fluido, e assim por diante com relação à cor e ao sabor, por exemplo.

Já o **atomismo positivista** estaria entre o real e o lógico e o “critério do positivismo é contudo claro: não postular nada que não possa ser submetido à verificação do laboratório” (BACHELARD, 1933 apud FERREIRA, 2013, p. 75). Nessa classificação, os principais exemplos discutidos por Bachelard são relacionados às leis de proporção desenvolvidas no século XIX e que buscavam provar a existência dos átomos, tais como as Leis de Dalton, a Lei de Avogadro, a Lei das proporções fixas, entre outras, que buscavam, no positivismo, uma forma de comprovação científica. O autor cita, como exemplo, a determinação experimental da constante de Avogadro, que foi realizada por Jean Perrin de quatorze maneiras diferentes.

Com relação ao **atomismo criticista**, Bachelard faz constantes diálogos com dois cientistas: Artur Hannequin e Kurd Lasswitz, sendo que tais autores são fundamentais para o entendimento da noção de atomismo criticista. Primeiramente, Ferreira (2013, p. 78) nos chama a atenção para o significado de criticismo como uma “[...] filosofia que tem por princípio que o conhecimento é possível e de que a verdade existe. Junta a confiança no conhecimento humano em geral a uma desconfiança com relação a qualquer conhecimento determinado”. Assim, “[...] uma teoria criticista do atomismo deverá naturalmente procurar a convergência das provas ao ponto de partida [...]. Teremos a prova de que o atomismo não é de natureza material, mas ao contrário, que provém da percepção e de inteligência” (BACHELARD, 1933, apud FERREIRA, 2013, p. 78).

Por último, há o **atomismo axiomático**, no qual Bachelard (1933 apud FERREIRA, 2013, p. 81) destaca que “[...] o pensamento axiomático nos ensina de fato a colocar um termo em análise porque a análise não pode mais do que preparar uma síntese. A função epistemológica do átomo é de construir teoricamente o fenômeno”. A palavra axioma, conforme Ferreira (2013), remete ao ponto de partida. Desse modo, Bachelard entende que

o atomismo é um bom exemplo do pensamento axiomático, quando supera as experiências cotidianas e passa a ser racional.
--

Fonte: Bachelard (1933 apud FERREIRA, 2013)

Diante do pensamento de Bachelard exposto nesta e em outras obras já discutidas, nos surge uma grande questão: Em que momento do nível escolar se deve ensinar sobre o modelo quântico? Sabe-se que não é comum tratar da teoria quântica no ensino médio, apenas no ensino superior. Para finalizar esta primeira parte, faremos algumas considerações sobre as pesquisas que consideram importante a inserção desse conceito no nível médio, principalmente na disciplina de física.

Pinto e Zanetic (1999), ao questionarem se “[...] é possível levar a física quântica para o ensino médio”, indicam três dificuldades: o formalismo matemático inerente à descrição quântica, as novidades conceituais que se distanciam da ciência clássica e o tratamento experimental dos temas quânticos. Mesmo com tais desafios, os autores compartilham uma experiência educacional que trata desse tema no ensino médio.

Os autores utilizaram-se da noção de perfil epistemológico e, na sequência proposta, realizaram o esboço do perfil epistemológico de cada estudante no início e ao final das discussões feitas sobre a natureza dual da luz, por meio da história da ciência. Como resultado, apontam ser possível e necessário levar física quântica ao ensino médio e reforçam que física também é cultura.

Assim como Pinto e Zanetic (1999), Marques e Caluzi (2005) propõem a inserção da ciência contemporânea no ensino médio por meio de discussões sobre a história da ciência. Brockington (2005) apresenta a discussão sobre a dualidade partícula-onda no ensino de ciências, enfatizando aspectos filosóficos e epistemológicos da aprendizagem por meio de modelos. Sousa (2009) discute sobre a teoria quântica por meio de uma sequência didática que trata dos conceitos da física das radiações. Silva (2009) defende que a discussão da teoria quântica pode gerar a apropriação da linguagem científica pelos estudantes. Barrelo Junior (2010) investiga o desenvolvimento da argumentação, tanto escrita como verbal, pelos estudantes a partir de estudos da teoria quântica.

Ainda destacamos a pesquisa de Pessanha (2014), que investiga os obstáculos à aprendizagem de estrutura da matéria no nível médio. Nessa pesquisa de doutorado, uma sequência didática que utiliza simulações computacionais se mostra

adequada para a discussão dos conceitos científicos. O autor indica que, na aprendizagem dos conceitos relativos à estrutura da matéria, surgem obstáculos de diversas naturezas, destacando que as metáforas e imagens podem gerar percepções ingênuas dos fenômenos.

Por fim, Silva e Cunha (2008) discutem que o arcabouço teórico para a compreensão do modelo atômico quântico é composto por cinco noções, a saber: o que o caracteriza como um modelo quântico; o comportamento dual (onda/partícula); o movimento sem trajetória definida; a representação do estado por uma função de onda e o caráter probabilístico do seu comportamento.

Assim, defendemos que os conceitos da teoria atômica quântica podem e devem ser discutidos no ensino médio e no início do ensino superior, de modo a possibilitar maior familiaridade com conceitos científicos que rompem com o senso comum. Entre as estratégias, a história e a filosofia da ciência se mostram importantes nesse processo, conforme indicam as pesquisas citadas.

CAPÍTULO 2: O CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO

Entendemos por pesquisa a atividade básica da ciência na sua indagação e construção da realidade. É a pesquisa que alimenta a atividade de ensino e atualiza frente à realidade do mundo. Portanto, embora seja uma prática teórica, a pesquisa vincula pensamento e ação.

(MINAYO, 2012, p. 16)

Neste capítulo, exploraremos aspectos importantes da realização da pesquisa, no que se refere ao contexto em que ela ocorreu, os sujeitos participantes, os instrumentos de coleta de dados e como foi desenvolvida a sua análise.

Entendemos a pesquisa como uma forma de questionar a realidade, sendo conhecidas duas grandes formas de fazê-la: quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa utiliza-se de números, estatísticas e indicadores para interpretação dos resultados; já a pesquisa qualitativa torna-se mais subjetiva, pois estuda contextos e significados. Desse modo, a pesquisa qualitativa é uma metodologia bastante utilizada nas ciências sociais e humanas. De acordo com Chizzotti (2003), a pesquisa qualitativa em um campo transdisciplinar teve sua origem no positivismo, na fenomenologia, na hermenêutica, no marxismo, na teoria crítica e no construtivismo.

O presente estudo foi realizado com o objetivo de identificar e analisar a influência dos obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito de átomo que interferem na aprendizagem de conceitos, como os de ligação química e reação química. Em vista disso, a metodologia mais adequada para nossos objetivos é a da pesquisa qualitativa porque, conforme discute Minayo (2006, p. 21), a pesquisa qualitativa

[...] responde a questões muito particulares. Ela se ocupa, nas Ciências Sociais, com um nível de realidade que não pode ou não deveria ser quantificado. Ou seja, ela trabalha com o universo de significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes. Esse conjunto de fenômenos humanos é entendido aqui como parte da realidade social, pois o ser humano se distingue não só por agir, mas por pensar sobre o que faz e interpretar suas ações dentro e a partir da realidade vivida e partilhada com seus semelhantes.

Como, neste estudo, buscou-se entender o universo de significados de um grupo de estudantes do curso de licenciatura em química acerca de determinados conceitos e considerando as especificidades do campo da pesquisa qualitativa, é importante destacar que foi necessária a inserção da pesquisadora no campo de investigação, que, a princípio, seria não participante; no entanto, os caminhos metodológicos e a abertura do campo de investigação permitiram, em alguns momentos, uma observação participante.

Assim, foram adotados “[...] multimétodos de investigação para o estudo de um fenômeno situado no local em que ocorre [...], procurando tanto encontrar o sentido deste fenômeno quanto interpretar os significados que as pessoas dão a eles” (CHIZZOTTI, 2003, p. 221).

Como a pesquisa ocorreu apenas em uma universidade, podemos identificar aspectos de um estudo de caso (ANDRÉ, 2005). Além disso, houve a inserção da pesquisadora no campo investigado, característica da pesquisa etnográfica (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Durante o processo da pesquisa, os diálogos feitos com o professor da disciplina enfocada pela pesquisa e o planejamento das atividades indiciam uma pesquisa-ação (ENGEL, 2000). Nesse sentido, a pesquisa qualitativa desenvolvida não utilizou apenas um método de investigação, mas trouxe elementos de vários deles, buscando a interpretação da realidade.

Nossa indagação que buscaremos responder é: “Estudantes de química do ensino superior podem apresentar obstáculos epistemológicos acerca da compreensão do modelo atômico? De que maneira os obstáculos interferem na aprendizagem de conceitos de ligação química e na interpretação de fenômenos relacionados a esses conhecimentos?”.

Os sujeitos da pesquisa foram cinquenta e quatro estudantes do curso de licenciatura em Química de uma Universidade pública do estado do Paraná, criado na instituição há 43 anos (DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, 2014). A caracterização dos sujeitos foi realizada por meio de um questionário (Questionário 1 - Apêndice A), constituído de questões fechadas e apenas uma questão aberta, sendo que trinta e um estudantes responderam a ele. A identidade dos estudantes foi preservada; portanto, para apresentar suas respostas, utilizou-se o código An, sendo A representado por acadêmico e n, o número distribuído aleatoriamente a eles.

O perfil dos estudantes participantes da pesquisa com relação à formação básica é de 81,3% que cursaram o ensino médio integralmente em escola pública,

sendo que apenas uma pequena parte dos estudantes (15,6%) cursou o ensino médio integralmente em escola particular e ainda há uma parcela de estudantes (3,1%) que cursou o ensino médio parcialmente na escola pública e parcialmente na escola particular. Além disso, a maioria dos estudantes (64,5%) não realizou nenhum curso pré-vestibular, sendo que aqueles que o fizeram somam 35,5% dos estudantes. Para o ingresso no curso de licenciatura em química, os estudantes submetem-se a um exame universitário (vestibular), sendo que 32,3% dos estudantes realizaram uma única vez, 38,7% prestaram o vestibular duas vezes, 22,6% três vezes, 3,2% quatro vezes e 3,2% seis vezes, ou seja, em média, o ingresso no curso ocorre quando o estudante presta esse exame de uma a três vezes. Cabe salientar que o exame universitário ocorre apenas duas vezes ao ano; portanto, parte desses estudantes provavelmente teve um intervalo de tempo entre a conclusão da educação básica e o ingresso na universidade.

Como o curso ocorre no período noturno, cerca de metade dos estudantes (48,4%) trabalha em período integral; uma parte deles (25,8%) trabalha meio período e estuda o restante do tempo; e a outra parcela (25,8%) dedica todo o seu tempo aos estudos, sendo comum estes estudantes participarem de projetos de ensino, pesquisa ou extensão oferecidos na universidade.

A pesquisa focalizou a disciplina intitulada Química Geral, com carga horária anual de 136 horas, ministrada no primeiro ano do curso de licenciatura em química. A ementa inclui os tópicos Estequiometria, Estrutura atômica, Tabela Periódica, Ligações químicas, Estados da Matéria, Funções Químicas, Reações Químicas, Termodinâmica, Cinética, Equilíbrio Químico e Eletroquímica. O conteúdo programático da disciplina é apresentado em um quadro no anexo A.

Em relação aos estudantes matriculados nessa disciplina e que frequentam as aulas, 80,6% estão cursando a disciplina pela primeira vez e 19,4% estão cursando pela segunda vez. Cabe salientar que apenas parte dos estudantes matriculados respondeu ao questionário, uma vez que foi aplicado durante as aulas, e como boa parte dos estudantes repetentes na disciplina não frequentam as aulas, mas apenas realizam as avaliações, o número de estudantes que está cursando a disciplina pela segunda vez pode ser maior.

Quando questionados sobre o porquê do ingresso no curso de licenciatura em química, uma parte significativa (35,9%) afirmou ter uma afinidade, considerar a importância ou ter interesse pela matéria de química. Além disso, uma parte

considerável dos estudantes (28,2%) afirma estar decidida pela profissão: ser professor de química. Outra parte dos estudantes (17,9%), perante a necessidade de trabalhar, decidiu pelo curso pelo fato de ser noturno. Ainda há alguns estudantes que elencaram outros motivos, como, por exemplo, consideram que se trata de um bom curso (7,7%), outros afirmaram que seria para adquirir conhecimento (5,1%), também foi um fator determinante para uma parcela dos mesmos (2,6%) a facilidade em passar no vestibular e ainda há alguns que mencionaram o incentivo de outras pessoas (2,6%).

A pesquisa foi feita em colaboração com o professor da disciplina, que é docente na instituição desde 2003 e possui doutorado em química inorgânica. Após um contato inicial feito no ano de 2013, houve seu consentimento em participar do estudo. Inicialmente, os objetivos da pesquisa foram esclarecidos e propôs-se o modo como a pesquisa seria realizada, bem como foram apresentados os instrumentos de coleta de dados que seriam utilizados.

A realização do trabalho de campo se deu no período de março a abril de 2014. As atividades realizadas nesse período compreendem: a observação das aulas com registro de áudio e/ou vídeo, anotações no diário do pesquisador, aplicação de questionários e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos sujeitos da pesquisa, com o objetivo de solicitar sua autorização, conforme normas do Comitê de Ética da Instituição. Além disso, com a autorização do professor, a avaliação realizada ao final do bimestre foi disponibilizada para ser utilizada na análise. É importante destacar que a avaliação foi elaborada integralmente pelo professor, sem qualquer tipo de influência da pesquisadora.

No período de observação, foram contempladas 20 aulas, de 50 minutos cada, em duas turmas da disciplina de Química Geral, sendo que, ao final dessas aulas, foi realizada a avaliação referente ao primeiro bimestre. As aulas ocorriam às terças e sextas-feiras no período noturno. Cada aula possui a duração de 100 minutos, com uma turma no primeiro horário e uma turma no segundo horário de aulas. A cada dia, foram observadas duas turmas referentes aos mesmos assuntos estudados, o que totalizou a observação de 40 aulas.

Os conteúdos desenvolvidos nas aulas observadas versaram sobre tópicos, tais como: parâmetros atômicos, propriedades periódicas, ligação iônica e covalente e geometria molecular. O conteúdo referente à estrutura atômica não foi observado por ter sido ministrado antes do início da observação das aulas.

Com a vasta experiência do professor na área de química, suas aulas não visam à memorização de conteúdo, mas à explicação lógica dos conceitos químicos. Normalmente, é comum apenas a apresentação no quadro de determinados conceitos, seguida da discussão de algumas situações-problema que o professor propõe durante o seu discurso. O que ocorre, em muitos casos, é que apenas parte dos estudantes responde às questões feitas pelo professor ou tenta fazê-lo, ou seja, mesmo em uma aula com elementos de questionamento, apenas alguns estudantes participam do diálogo.

A observação e a gravação das aulas em áudio e vídeo foram realizadas com o objetivo de inserir a pesquisadora no contexto das aulas e compreender a dinâmica do ensino e da aprendizagem do conteúdo abordado, o que permite a participação dos estudantes e os possíveis obstáculos que interferem no entendimento dos conceitos envolvendo o átomo. Além das gravações, durante as observações, foram feitas anotações no diário da pesquisadora, para que as informações fossem complementadas. O quadro 2 apresenta um resumo dos conteúdos abordados no período de observação das aulas.

Quadro 2 - Resumo geral das aulas observadas

Data	Assunto abordado na aula
11/03/2014	Parâmetros atômicos: Energia de Ionização e Afinidade eletrônica
14/03/2014	Aplicação do TCLE e questionário inicial Discussão dos parâmetros atômicos e ponto de fusão de metais e não metais
18/03/2014	Reatividade de metais e não metais
21/03/2014	Início de Ligação química iônica
25/03/2014	Ligação iônica: estrutura da rede cristalina e propriedades dos compostos iônicos
28/03/2014	Atividade do Magnésio com aplicação de questionário
01/04/2014	Início de ligação covalente
04/04/2014	Estrutura de ressonância e carga formal
08/04/2014	Entalpia de ligação e entalpia de reação
11/04/2014	Geometria molecular
15/04/2014	Avaliação primeiro bimestre

Os instrumentos de coleta de dados inicialmente planejados foram o questionário inicial com duas questões sobre o átomo, as gravações das aulas, o

diário de bordo da pesquisadora e a avaliação formal dos estudantes do primeiro bimestre referente aos conteúdos pesquisados.

O questionário inicial (Questionário 2 – Apêndice B) foi aplicado com o objetivo de identificar as concepções dos estudantes sobre o conceito de átomo e, a partir das respostas, buscou-se identificar possíveis obstáculos epistemológicos. Esse instrumento foi aplicado nos primeiros trinta minutos da aula, observada em 14 de março de 2014. Antes da aplicação do questionário, os estudantes foram informados com relação à pesquisa e às atividades que seriam feitas, bem como se concordavam em participar do estudo, assinando o TCLE, aprovado pelo Comitê de Ética da Instituição.

As concepções dos estudantes acerca do átomo também foram investigadas por meio da avaliação formal da disciplina, realizada no dia 15 de abril de 2014. Das questões formuladas, analisamos as que se referiam à definição de orbital e de números quânticos, bem como a discussão sobre a importância desses conceitos para a compreensão do modelo atômico atual. Além desta, outra questão que solicita do estudante a explicação sobre as diferenças nos diagramas de energia de um átomo monoatômico e poliatômico pôde dar subsídios para as discussões.

No decorrer da realização do trabalho de campo, houve uma discussão entre os pesquisadores e o professor da disciplina, na qual foram apresentados alguns resultados parciais da pesquisa. A partir dessa discussão, o professor da disciplina trouxe algumas contribuições para a coleta de dados, em relação à elaboração de uma atividade para que fossem discutidos aspectos importantes sobre o objeto desta pesquisa.

Nessa atividade, foi utilizado um vídeo¹² disponível no youtube¹³ para que os estudantes pudessem visualizar o fenômeno da queima de um pedaço de magnésio. O vídeo ficou disponível por cerca de 15 minutos, sendo passado repetidamente para que os estudantes respondessem a uma questão (Questionário 3 – Apêndice C) que lhes solicitava explicar, no nível molecular, o que entendiam sobre o fenômeno da queima do magnésio.

¹² O vídeo foi escolhido porque não havia fita de magnésio no laboratório da universidade e o planejamento da disciplina não permitia adiar a atividade por mais tempo.

¹³ O vídeo utilizado está disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=yl_ti5ul2nY, acessado em 20/03/2014. Houve um corte nos segundos iniciais do vídeo que apresenta o título “Oxidação do magnésio” para não induzir nenhuma resposta dos estudantes e, quando nos referíamos ao fenômeno, utilizávamos o termo queima do magnésio.

Além disso, houve um momento para discussão entre os alunos, a fim de socializarem suas ideias e discuti-las em pequenos grupos. Em seguida, o professor conduziu a atividade, por meio de questionamentos feitos para os estudantes sobre suas ideias, anotando-as na lousa e, posteriormente, discutindo cada ponto mencionado por eles. O planejamento dessa atividade está disponível no Apêndice E e a sua gravação na turma 1 está transcrita no Apêndice F.

Como as atividades da pesquisa ocorreram no decorrer da disciplina e não houve constância da presença dos estudantes nas aulas, apresentamos as Tabelas 1 e 2, que indicam os instrumentos de avaliação e os estudantes presentes no dia em que foram aplicados, nas turmas 1 e 2, respectivamente.

A análise interpretativa dos dados foi realizada com base na epistemologia de Gaston Bachelard e na noção de obstáculo epistemológico proposta por ele. Para isso, procedeu-se à análise de conteúdo dos dados. Conforme Bardin (1979, p. 105), essa análise “[...] consiste em descobrir os ‘núcleos de sentido’ que compõem a comunicação e cuja presença, ou frequência de aparição pode significar alguma coisa para o objetivo analítico escolhido”.

A categorização propriamente dita pode ser feita por vários critérios, como categorias temáticas, categorias referentes a verbos, adjetivos, advérbios etc., categorias que se referem a problemas de linguagem, entre outras (BARDIN, 1979). Para a autora, a categorização é uma “[...] operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com critérios previamente definidos” (BARDIN, 1979, p. 117).

Tabela 1 - Turma 1

Acadêmicos	Instr. de coleta de dados		
	Quest 2	Quest 3	Avaliação
A1	X	X	
A2	X	X	X
A3	X	X	X
A4	X		X
A5	X	X	X
A6	X		X
A7	X	X	X
A8	X	X	X
A9	X	X	X
A10	X	X	X
A11	X	X	X
A12	X		
A13	X		X
A14	X	X	X
A15	X		X
A16	X	X	X
A17	X		X
A18	X	X	X
A19	X	X	X
A20	X	X	X
A21	X	X	X
A43		X	X
A44		X	X
A45		X	X
A46		X	X
A47		X	

Tabela 2 - Turma 2

Acadêmicos	Instr. de coleta de dados		
	Quest 2	Quest 3	Avaliação
A22	X		X
A23	X		X
A24	X		X
A25	X		X
A26	X	X	X
A27	X	X	
A28	X	X	X
A29	X	X	X
A30	X	X	X
A31	X	X	X
A32	X		X
A33	X	X	X
A34	X	X	
A35	X		X
A36	X		X
A37	X	X	X
A38	X		X
A39	X		X
A40	X	X	X
A41	X		
A42	X	X	X
A48		X	X
A49		X	X
A50		X	X
A51		X	X
A52		X	X
A53	X		X
A54		X	

Após a análise de conteúdo das concepções de átomo presentes no questionário 2 e na avaliação, foram destacados alguns obstáculos epistemológicos que identificamos nas concepções dos licenciandos. Buscando responder como se dá a influência desses obstáculos na compreensão de outros conhecimentos químicos, as respostas do questionário 3, da atividade da queima do magnésio, também foram categorizadas e discutidas com base na epistemologia bachelardiana. A análise e a interpretação dos resultados serão apresentadas no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3: OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS: UM OLHAR SOBRE AS CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

[...] o que Bachelard nos ensina? Rememora o caráter dinâmico, a historicidade fundamental do saber. E mostra que, na sua aventura, a ciência é construída sempre pelo esforço de muitos, pelo trabalho da 'cidadela científica', que supera erros, obstáculos, e que por sua constante vigilância e diálogo alcança alguma verdade.

(CESAR, 1989, p. 5)

Neste capítulo, analisamos e discutimos os dados coletados durante o trabalho de campo, buscando sempre a identificação e discussão dos obstáculos epistemológicos no processo de ensino e aprendizagem do conceito de átomo e as implicações para a aprendizagem de outros conceitos químicos, tais como os de reação química e ligação química. Nosso principal referencial de análise foi a epistemologia de Bachelard, bem como outros autores da área de ensino de química que discutem o objeto desta pesquisa.

Primeiramente, procuramos discutir a concepção de átomo dos licenciandos por meio da análise de dois instrumentos de coleta de dados: o questionário 2 e a avaliação formal. Como estes foram aplicados em momentos distintos, a comparação das respostas dos estudantes, em ambos os casos, possibilitou a compreensão sobre a sua concepção acerca do átomo e os obstáculos epistemológicos relacionados ao conceito.

Assim, na primeira sessão, apresentaremos a análise de conteúdo do questionário 2, comparando com a avaliação formal e buscando discuti-los à luz da epistemologia bachelardiana. Na segunda sessão, faremos um destaque aos principais obstáculos epistemológicos evidenciados nas concepções de átomo dos estudantes: obstáculos realista, verbal e substancialista.

Buscando responder à nossa questão de pesquisa, na terceira sessão, discutiremos a atividade sobre a queima do magnésio. O questionário 3, respondido no início da atividade, foi categorizado e discutido, bem como alguns trechos de discussões da aula em que a atividade ocorreu. Nas discussões, buscaremos

identificar e indicar a influência dos obstáculos epistemológicos no processo de ensino e aprendizagem.

3.1 CONCEPÇÕES DE ÁTOMO DOS LICENCIANDOS

O questionário 2 investiga, por meio de duas questões, as concepções de átomo dos estudantes. A primeira questão é: “Com base no termo **ÁTOMO**, escreva as cinco primeiras palavras que, em sua opinião, se referem ao termo”. Considerando o total de questionários aplicados nas duas turmas, identificamos a escrita de setenta e cinco palavras ou termos diferentes, sendo que vinte e oito foram mencionadas mais de uma vez e quarenta e sete palavras mencionadas uma única vez. O quadro 3 apresenta as palavras com maior frequência de menção, sendo que o número entre parênteses corresponde à frequência de menções.

Quadro 3 - Palavras ou termos mencionados com maior frequência no questionário 2

Elétrons (24)	Prótons (20)	Nêutrons (15)	Núcleo (17)
Indivisível (9)	Energia (9)	Eletrosfera (8)	Matéria (7)
Carga elétrica (5)	Divisível (5)	Moléculas (4)	Partículas (4)
Número atômico (3)	Reação Química (3)	Propriedades (3)	Massa (2)
Modelo quântico (2)	Repulsão (2)	Origem (2)	Camadas (2)
Pequeno (2)	Elemento químico (2)	Bohr (2)	Química (2)
Orbital (2)	Esfera (2)	Unidade (2)	Ligação química (2)

Com base nas palavras ou nos termos mencionados, é possível discutir algumas ideias sobre as concepções de átomo apresentadas pelos estudantes. Nota-se que as partículas subatômicas (elétrons, prótons e nêutrons) e as regiões do átomo (núcleo e eletrosfera) são muito frequentes nas menções. Essa ideia provavelmente não decorre das vivências ou do cotidiano¹⁴, uma vez que não são termos muito comuns no dia a dia. Por outro lado, os termos citados são bastante presentes em

¹⁴ Neste caso, o termo cotidiano está sendo utilizado no sentido de que essas palavras não são de uso comum, mas próprias da linguagem científica. No entanto, atualmente é cada vez mais comum o emprego de termos científicos na mídia, como nos filmes e desenhos de ficção científica. Embora esses termos sejam mencionados em tais meios de comunicação, a definição ou conceituação do termo geralmente não é realizada.

aulas de ciências e química, bem como estão inseridos em materiais instrucionais dos diversos níveis de estudo, uma vez que constituem parte do corpo teórico dos diferentes modelos atômicos, como os de Thomson, Rutherford, Bohr e da Mecânica Quântica, levando-nos a inferir que esses termos provavelmente foram originados da vivência escolar desses estudantes.

Além disso, é bastante frequente a palavra “Indivisível”, o que indica, em muitos casos, uma contradição, pois, ao mesmo tempo em que o estudante menciona partículas subatômicas, ele também afirma que o átomo é algo indivisível. Como o átomo pode ser indivisível e composto por partículas menores ainda? Essa ideia de que o átomo é indivisível surgiu na corrente atomística proposta pelo filósofo grego Demócrito, sendo a tradução da própria palavra átomo oriunda do grego, indivisível.

No modelo atômico proposto por Dalton, já no século XIX, o átomo também era concebido como uma esfera maciça e indivisível, mas com a descoberta do elétron e das outras partículas subatômicas, como o próton e o nêutron, a indivisibilidade do átomo foi questionada. Caruso e Oguri (1997) discutem que o átomo não é indivisível, no entanto os estudos do século XX centraram-se nas partículas subatômicas, consideradas indivisíveis, e afirmam ser possível constatar que o fato de a teoria quântica estar “constantemente dividindo o indivisível não implica, ou pelo menos não implicou até o presente, o abandono do paradigma de átomo, embora possa modificá-lo” (CARUSO; OGURI, 1997, p. 324).

No ensino Fundamental e Médio, geralmente são discutidos os modelos atômicos; além disso, os livros didáticos de ambos os níveis de ensino apresentam a ideia da partícula indivisível nas primeiras abordagens sobre modelos atômicos. Isso indica que, embora outros modelos tenham sido discutidos posteriormente e abordados com maior profundidade na universidade, percebemos que a compreensão de alguns estudantes está na esfera indivisível, uma vez que cerca de 20% dos estudantes menciona a palavra indivisível. Possivelmente uma das causas dessa concepção pode ser a falta de questionamento ou problematizações a respeito dos modelos explicativos da matéria ao longo dos diferentes níveis de ensino.

Ainda a respeito da presença da palavra indivisível nas respostas dos estudantes, é importante destacar que, embora eles tenham passado pelos diferentes níveis de ensino antes de cursarem o ensino superior, assim como o fato de estarem estudando esse conteúdo na disciplina em que a pesquisa ocorreu, isso não impediu que alguns deles ainda apresentassem uma ideia simplista sobre o átomo. Podemos

evidenciar ainda palavras como partícula, esfera e pequeno (em negrito), que reforçam uma visão realista ingênua.

Essa forma de conceber o átomo pode ter a sua origem no uso de analogias, por exemplo, ao comparar-se o átomo com uma bola de bilhar com o intuito de facilitar a compreensão do átomo concretamente. Mas se esses estudantes apresentam essa ideia para expressar o entendimento sobre o modelo atômico e não conseguem explicá-lo com maior profundidade teórica, as analogias, ao invés de facilitarem a aprendizagem, podem ter gerado obstáculos epistemológicos. Mesmo no ensino superior, se essa concepção alternativa¹⁵ não for questionada e discutida, esse estudante pode apresentar dificuldades na aprendizagem deste e de outros conceitos químicos. Considerando que se trata de um futuro professor de química, o problema pode chegar às salas de aula, caso o professor em formação não compreenda a importância de entender epistemologicamente o significado dessa palavra.

Menos frequente do que o termo indivisível, aparece o termo “Divisível”, que se mostra coerente com a ideia de que, se o átomo possui as partículas subatômicas, ele se torna divisível. Nesse sentido, os estudantes que deram essa resposta revelaram compreender o modelo atômico, sob o parâmetro da divisibilidade. Quando o estudante menciona a divisibilidade, mostra inclusive a ideia de que há uma organização nesse átomo que o torna divisível. Como é frequente a menção dos termos divisível e núcleo/esfera por um mesmo estudante, de algum modo, está indicando como é a organização no átomo.

Outras palavras como matéria, partícula, camadas, pequeno, carga elétrica, energia e esfera fazem parte da noção de átomo para esses estudantes. Com relação aos modelos, são frequentes os termos modelo quântico e Bohr, correspondentes aos modelos mais atuais. Os estudantes também citam os termos propriedades, elemento químico e ligação química, todos associados ao conceito de átomo e importantes para explicar o comportamento da matéria.

No Quadro 4, são apresentadas as palavras ou os termos mencionados apenas uma vez.

¹⁵ Se a ideia da indivisibilidade e do pequeno for persistente nas concepções dos estudantes e não ocorrer incorporação de novos pressupostos teóricos, trata-se de um erro conceitual.

Quadro 4 - Palavras ou termos mencionados uma vez no questionário 2

Massa atômica	Número quântico principal	Probabilidade
Incertezas	Questionamento	Níveis de energia
Maciço	Radiação	Universo
Estrutura mais simples da matéria	Várias quantidades	Não se observa com olhos
Estrutura conceitual	Estudo da química	Menor partícula da matéria
Interação	Thomson	Rutherford
Dalton	Substância	Existência
Organização	Menor estrutura	Está presente em tudo
Possui peso diferente em átomos distintos	Conceitos de quantização	Teoria atômica
Indestrutível	Elementar	Composição
Observação	Teoria	Transformação
Blocos de construção da natureza	Luz interagindo com a matéria	Estrutura atômica
Indispensável	Formador	Afinidade eletrônica
Carga nuclear efetiva	Força de atração	Pudim de passas
Instabilidade	Emissão	Misterioso
Fascinante	Extremamente importante	Estrutura

Nas palavras ou nos termos mencionados uma única vez, há uma variedade de expressões que incorporam ideias sobre o que é o átomo, como ele se organiza, sobre sua existência, analogias comumente utilizadas, entre outros aspectos. Entre as palavras que dão ideia do que é o átomo, podemos destacar “Estrutura mais simples da matéria”, “Menor partícula da matéria”, “Estrutura conceitual”, “Menor estrutura”, “Blocos de construção da natureza”. Todos esses termos, de certo modo, mostram como os estudantes definem átomo.

Uma parte dos termos refere-se aos modelos de constituição da matéria, como, por exemplo, “Thomson”, “Rutherford”, “Dalton”, “Teoria atômica”, “Teoria” e “Pudim de passas”. Esses nomes nos remetem a diferentes modelos de constituição da matéria sobre os quais os estudantes tiveram algum tipo de leitura durante sua formação básica; contudo, tais referenciais não são suficientes para inferir acerca da compreensão dos modelos em questão. Ao mencionar a palavra teoria, entende-se que o estudante pode pensar que os átomos são estudados por meio de proposições que não sejam necessariamente comprovadas. O termo “Pudim de passas” é uma

denominação comum apresentada nos livros didáticos para fazer referência ao modelo atômico de Thomson e se constitui em uma analogia.

Palavras ou termos como “Probabilidade”, “Incertezas”, “Questionamento”, “Conceitos de quantização” e “Não se observa com olhos” indicam uma concepção moderna de matéria. Pode-se notar, ainda, termos como “Massa atômica”, “Número quântico principal”, “Níveis de energia”, “Força de atração”, “Carga nuclear efetiva” e “Afinidade eletrônica”, relacionados aos parâmetros atômicos e, de certo modo, noções mais elaboradas acerca do conceito de átomo.

A segunda questão do questionário 2 é: “Represente o átomo como você imagina, por meio de desenho. Em seguida, faça suas explicações acerca de sua representação. Deixe claro em suas palavras qual é o seu **conceito de átomo**”. Essa questão foi respondida pela maioria dos estudantes como representação daquilo que eles construíram ao longo da educação básica. Assim, as respostas dos estudantes foram classificadas, entendendo-se que o conceito de átomo foi proposto por meio de modelos, e que estes são tentativas, sempre incertas, de representar a realidade, na qual existem algumas evidências que podem corroborar o estabelecimento dos modelos atômicos. Bachelard discute, de modo bastante poético¹⁶, sobre as representações:

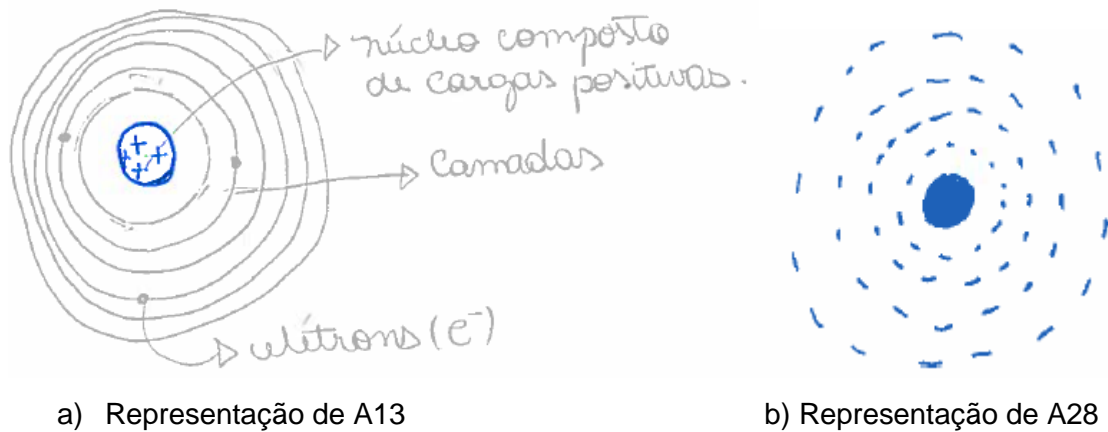
[...] o mundo é minha miniatura porque está tão longe, tão azul, tão calmo, quando o considero onde ele está, como está, no tênue desenho do meu devaneio, no limiar do meu pensamento! Para dele fazer uma *representação*, para colocar todos os objetos em escala e medida real, em seu verdadeiro lugar, preciso quebrar a imagem que eu contemplava quando ele era uno e, depois, encontrar em mim mesmo motivos ou lembranças para reunir e ordenar o que minha análise acaba de quebrar. Que trabalheira! (BACHELARD, 2008, p. 23).

Uma representação nunca é a realidade, mas a forma como vemos a realidade. Neste caso, como a representação se refere à estrutura atômica e esta foi sendo construída ao longo da história da ciência por meio de modelos, as representações trazem traços desses modelos, tais como os de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e da mecânica quântica.

¹⁶ O artigo no qual Bachelard discute sobre “o mundo como capricho e miniatura” data de 1933-1934, início de sua carreira. Desse modo, as visões científicas e poéticas ainda aparecem bastante mescladas. Apenas ao final de sua obra, podem-se demarcar com maior clareza suas publicações noturnas e diurnas.

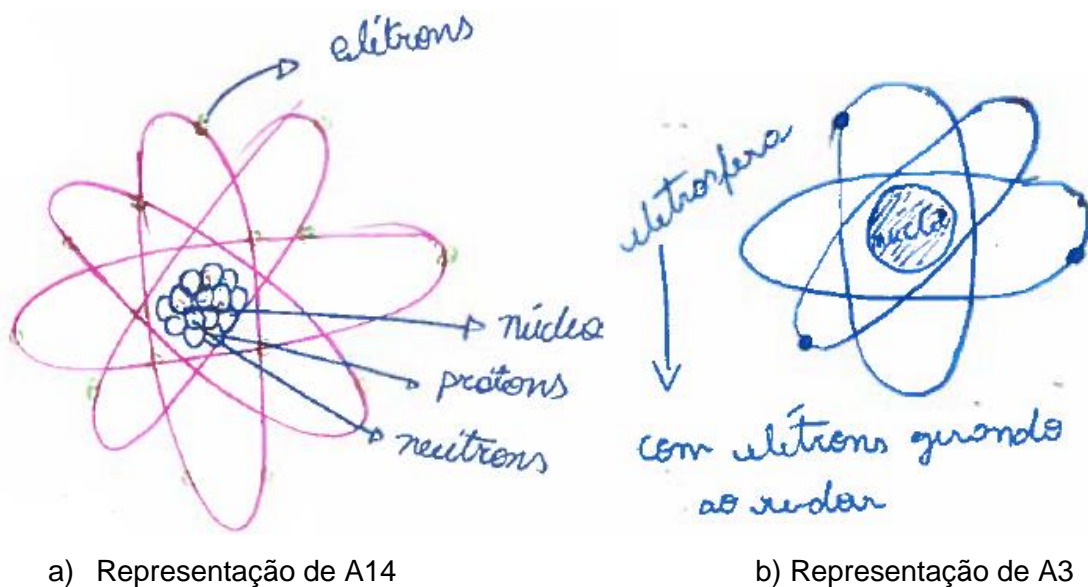
A representação mais frequente apresentada pelos estudantes condiz com o modelo proposto por Bohr, conforme identificamos nos desenhos das camadas da eletrosfera presentes em quatorze respostas do total de estudantes (33,3%), como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Representação de acordo com o modelo de Bohr



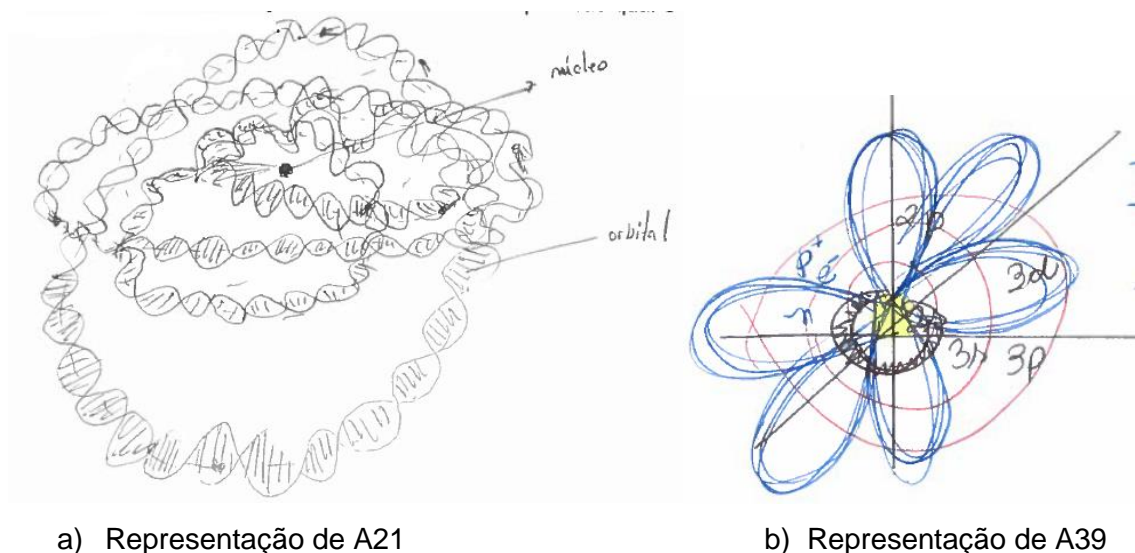
A segunda representação mais frequente corresponde ao modelo proposto por Rutherford, com as regiões do núcleo e da eletrosfera bem definidas, aparecendo em doze desenhos (28,6%), como apresentado na figura 3. Nessas representações, fica sempre evidente o núcleo e a eletrosfera como as representações de A3 e A14. São imagens bastante comuns, principalmente na mídia e este pode ser um dos fatores que exerce forte influência na grande quantidade de representações.

Figura 3 - Representação de acordo com o modelo de Rutherford



A terceira representação mais frequente corresponde ao modelo da mecânica quântica, com orbitais ou apenas uma nuvem eletrônica de formato indefinido, aparecendo em onze desenhos (26,2%), como pode ser observado na Figura 4. A representação de A21 se mostra bastante interessante, pois não é comumente presente em livros ou nas aulas de química. O estudante indica uma região como sendo o núcleo e outra os orbitais, mas sua representação de orbital não é convencional e pode denotar a ideia de energia. Já o estudante A39 faz a representação do formato dos orbitais s e p, característicos do modelo quântico.

Figura 4 - Representação conforme o modelo da mecânica quântica



Há ainda quatro representações que indicam o átomo como uma esfera indivisível, conforme proposto no modelo de Dalton (9,5%) apresentado na Figura 5. O estudante A8 indica uma concepção de átomo bastante característica do realismo, quando representa apenas uma esfera, principalmente nesse nível de ensino. Já A33 utiliza uma representação bastante comum em livros didáticos, na qual as moléculas são apresentadas como um aglomerado de pequenas esferas, geralmente coloridas. Pode ser que A33 tenha apenas a imagem dessa molécula em sua memória, mas não necessariamente a entenda, uma vez que nem em seu desenho nem em sua explicação menciona de qual molécula se trata.

Figura 5 - Representação conforme o modelo de Dalton



a) Representação de A8



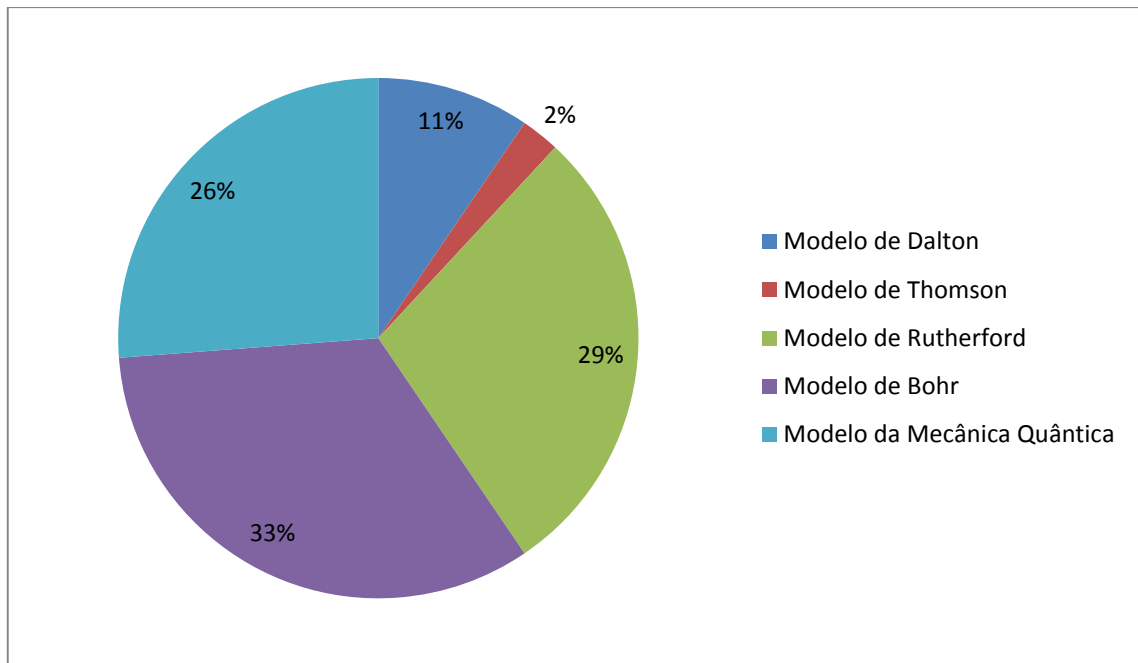
b) Representação de A33

E por último, há um desenho feito por A36 que mostra o átomo como uma esfera com pequenas bolinhas que representam as partículas subatômicas, conforme proposto no modelo de Thomson (2,4%), apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Representação conforme o modelo de Thomson



O gráfico 1 mostra a proporção de representações dos desenhos conforme os modelos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Mecânica Quântica.

Gráfico 1 - Percentual de representação dos modelos atômicos

Pode-se notar que os três modelos mais frequentes nas representações são o de Bohr, seguido do modelo de Rutherford e o modelo da mecânica quântica, indicando ideias mais próximas dos modelos mais atuais. No entanto, ainda há uma parte dos estudantes que parecem entender o átomo como uma esfera indivisível, o que atualmente é considerado um erro conceitual.

Cokelez e Dumon (2005), em pesquisa com estudantes franceses do ensino médio (grades 10, 11 e 12 equivalentes aos três anos do ensino médio), obtiveram uma grande representação de átomos como esferas: 61% na grade 10, 31% na grade 11 e 30% na grade 12, ou seja, a porcentagem de estudantes que representa o átomo como esfera cai a cada série cursada. No ensino superior, não seria esperado esse tipo de representação, principalmente como a realizada por A8.

As ideias apresentadas são modelos e se os estudantes se reportam a eles, possivelmente são os modelos que construíram a respeito do conceito. Com isso, as representações denotam o quanto nossa abstração é individual e passa por nossa imaginação. Bachelard discute sobre a representação:

[...] sem dúvida, a representação é por essência uma sistematização mais ampla; ela acarreta não só a colaboração dos diversos sentidos, mas também a ajuda da memória e a organização da razão. Essa representação claramente sistemática contém, entretanto, ao mesmo tempo matéria demais e pensamento demais para que se possa

determinar-lhe o ponto de inflexão, o lugar exato em que o movimento da consciência muda de sentido para retornar do eu para o Mundo. É possível [...] limitar-se às características visuais da representação e indagar se a metafísica não poderia esclarecer no estudo da localização visual seguindo, como diz Baudelaire, ‘as maravilhosas construções do impalpável’, colocando-se sempre na origem do interesse de visão ou do capricho de prospecção (BACHELARD, 2008, p. 25).

As contribuições de Bachelard no campo das representações receberam fortes influências da veia poética do filósofo. Esse artigo foi publicado entre 1933 e 1934 na *Recherches Philosophiques* e intitulado “O mundo como capricho e miniatura”, no qual Bachelard discute sobre o que é a representação e como cada indivíduo a faz. Para o autor, “a representação completa encontra sua primeira e mais profunda raiz na representação visual” (BACHELARD, 2008, p. 25). Desse modo, pode-se entender como a representação de átomos dos estudantes está ligada às imagens que eles carregam na memória, sejam elas oriundas de um livro didático, uma aula de ciências ou da própria mídia.

Já as explicações acerca do conceito de átomo dadas pelos estudantes podem ser classificadas em duas categorias:

1. Átomo constituído com núcleo (prótons e nêutrons) e eletrosfera (elétrons): 75,6%
2. Átomo como uma partícula minúscula: 24,4%

Novamente, observa-se de modo marcante a explicação sobre o conceito de átomo com ênfase na estrutura núcleo/eletrosfera, conhecida desde o modelo de Rutherford até o modelo quântico e que está evidenciada nos fragmentos de fala de diversos estudantes a respeito dos diferentes modelos discutidos. Nesse caso, assim como observado nas palavras citadas na primeira questão, as ideias apresentadas na categoria 1 revelam algo que é facilmente acessado na memória dos estudantes quando se pensa no átomo: as regiões núcleo/eletrosfera e as partículas subatômicas. No entanto, existem vários modelos atômicos que se utilizam dessa estrutura, mas de modos diferentes. Por exemplo, o primeiro modelo que propõe essa estrutura é o de Rutherford; no modelo de Bohr, há a mesma estrutura, no entanto Bohr propõe que os elétrons estão em órbitas ao redor do núcleo; e, no modelo quântico, os elétrons estão em regiões de maior probabilidade, os orbitais. Assim, apresentamos alguns resultados para cada um desses modelos.

As falas dos estudantes A21 e A40 apresentam a noção de núcleo e eletrosfera e indicam uma concepção de modelo quântico, uma vez que mencionam o orbital, noção que não está presente em nenhum dos modelos anteriores ao da mecânica quântica.

Composta por um núcleo e pela eletrosfera. Núcleo com partículas de carga nula e de carga elétrica positiva (convenção) = prótons; Essas partículas são unidas com uma força muitíssimo grande pois supera a força de repulsão elétrica entre os prótons, e também pode ser observada sua magnitude pelas reações de fissão nuclear. A eletrosfera é composta de elétrons (partícula de massa pequeníssima em relação ao núcleo, que possui carga elétrica oposta da carga do próton (negativo – convenção). Os elétrons formam uma região muitíssimo grande em relação ao raio do núcleo atômico. Essas regiões (**orbitais**), conforme distância do núcleo possuirá um determinado parâmetro de energia.

O átomo sozinho = eletricamente = neutro (neutro = 1 próton + 1 elétron)

O átomo sozinho = eletricamente = instável (com exceção dos gases nobres) (A21 – Questionário 2).

Esse estudante discute a respeito do tamanho e da massa das partículas subatômicas, forças que atuam no átomo e sobre a energia, o que demonstra uma concepção voltada para o modelo quântico da matéria. Na avaliação formal da disciplina, o mesmo estudante, ao ser questionado sobre a importância dos números quânticos para a compreensão do modelo atual, menciona que “*esses números quânticos são importantes para poder definir uma região mais precisa (porém nunca exata) da posição do elétron na eletrosfera*” (A21 – Avaliação formal), ou seja, compreende a dificuldade na precisão da localização do elétron.

O átomo moderno, como teoria, constitui-se de um núcleo, aonde está localizado o próton (carga nuclear positiva) e ao seu redor, em várias órbitas, localiza-se os elétrons (carga negativa), este núcleo em comparação aos elétrons é muito maior, este atrai os elétrons ao seu redor que ficam em transição devido sua repulsão natural e as energias externas que influencia a mudança de orbital (A40 – Questionário 2).

O estudante A40, embora se refira ao átomo moderno, descreve que os elétrons estão em órbitas, ideias que correspondem ao modelo atômico de Bohr, anterior ao modelo atômico da mecânica quântica. No entanto, ao final de sua fala, se reporta ao termo orbital, que corresponde a uma região de maior probabilidade de encontrar o elétron, o que é diferente daquela órbita proposta por Bohr com uma distância fixa do núcleo. Dessa forma, embora esse estudante tenha várias noções

sobre a estrutura do átomo, ainda parece confundir termos e mesclar modelos atômicos em sua explicação, uma vez que não fornece elementos para entendermos sua noção sobre o significado de orbital.

Na avaliação formal, percebe-se que esse estudante entende apenas o significado de órbita e pode realmente utilizar os termos órbita e orbital como sinônimos, uma vez que responde à definição de orbital como “*as camadas envolta do núcleo atômico aonde ficam localizados os elétrons*” (A40 – Avaliação formal). A utilização dos termos órbita e orbital como sinônimos é um erro conceitual que indica uma dificuldade de aprendizagem do modelo quântico. Essa dificuldade pode estar associada à presença de obstáculos epistemológicos.

Nos fragmentos de falas dos estudantes A9, A18 e A26, percebemos a presença predominante de uma noção sobre o modelo de Bohr, uma vez que as camadas são bastante enfatizadas.

O átomo é constituído de núcleo, onde ficam os prótons e os nêutrons, e eletrosfera, onde ficam os elétrons. Na eletrosfera há as camadas K, L, M, N, O, P, Q nas quais os elétrons são distribuídos e entre cada camada há os subníveis de energia s, p, d, f, que na representação está em círculos, mas na realidade não é assim. O átomo é divisível. Os elétrons giram em ordem elíptica. Tudo e qualquer matéria é feito de átomos (A9 – Questionário 2).

Na explicação de A9, há algumas ideias coerentes ao modelo proposto por Bohr, uma vez que tal estudante parece compreender que, se o átomo possui prótons, nêutrons e elétrons, ele é divisível. Novamente pode-se evidenciar uma mescla de modelos atômicos, já que Bohr propõe apenas as camadas e não os subníveis mencionados pelo estudante, que só aparecem no modelo da mecânica quântica por meio da noção dos quatro números quânticos. Além disso, A9 indica entender que o desenho se trata de uma representação da realidade, mas não pode ser entendido como real concreto.

Na avaliação formal, esse mesmo estudante explica que “o significado físico do quadrado da função de onda é a região de maior probabilidade que um determinado elétron pode se encontrar” (A9 – Avaliação formal). Embora no questionário 2 enfoque sua explicação nas camadas, entende que o elétron não pode ser encontrado em um local específico. No entanto, quando discute a importância dos números quânticos na

avaliação formal, tal estudante menciona o caminho feito pelo elétron, mostrando que a ideia de órbita está presente em suas concepções.

O estudante A18 apresenta ideia bastante difusa quanto ao átomo. Ele destaca as camadas presentes no átomo, como proposto por Bohr, e as partículas subatômicas, mas discute sobre a indivisibilidade do átomo, o que não é coerente com o modelo de Bohr e representa um erro conceitual do estudante.

Átomo é constituído por elétrons (nas camadas) que ficam em torno do núcleo que contém prótons e nêutrons, constitui a matéria, é indivisível, pode ser alterado a quantidade de elétrons e sua camada virando um ânion, com o fornecimento de energia, cada átomo, de cada elemento algumas tem características diferentes, como, raio atômico, energia de ionização, quantidade de camadas, quantidade de elétrons, prótons e nêutrons (A18 – Questionário 2).

Quando esse estudante menciona sobre a indivisibilidade do átomo, pode-se entender que possivelmente esse conceito não foi problematizado em sua formação, o que nos permite inferir sobre a existência de obstáculos epistemológicos. A indivisibilidade pode ter sido interiorizada por tal estudante por meio de atividades onde foram utilizadas analogias não problematizadas, como, por exemplo, a da bola de bilhar. Como consequência, mesmo com todo o processo formativo, desde a educação básica, e com as discussões acerca da estrutura da matéria na disciplina de química geral, a concepção do estudante A18 continua sendo a de que o átomo é indivisível. Nesse aspecto, há indícios de obstáculos epistemológicos que poderiam ser de natureza verbal ou realista.

Também destacamos outro ponto importante presente na fala de A18 acerca do processo de ionização de um átomo. O estudante destaca que, com o fornecimento de energia, o átomo torna-se um ânion, ou seja, recebe um elétron em sua camada de valência. No entanto, esse processo não necessita de energia; pelo contrário, ele libera energia, indicando mais um erro conceitual. Ainda, pode-se notar que o estudante A18 afirma que os átomos são diferentes e isso é o que caracteriza os diversos elementos químicos que conhecemos na tabela periódica. Tais características são fundamentais para a compreensão do conceito de ligação química.

Na avaliação formal da disciplina, A18 afirma que “o quadrado de onda φ^2 é o espaço da orbita, $n=1 \rightarrow$ a primeira orbita mais próxima do núcleo, $m_l = \text{spin } p/$ verificar a localização no elétron na camada de valência. Os números quânticos no modelo

atual permite saber quantos elétrons são ionizáveis e sua posição na camada de valência” (A18 – Avaliação formal). Portanto, pode-se inferir que, para esse estudante, o átomo possui camadas, pois em diversos instrumentos de coleta de dados se reporta às camadas e às órbitas. Considerando o tempo que houve entre a aplicação dos dois instrumentos de coleta de dados comparados, podemos entender que a compreensão acerca do átomo de A18 pode ter evoluído, uma vez que ele não discute sobre a indivisibilidade do átomo na avaliação formal.

O estudante A26 também apresenta a ideia das camadas, como observada na resposta ao questionário 2: “O átomo possui um núcleo que é constituído dos prótons e nêutrons. Ao redor há as camadas, onde encontram os elétrons que podem estar carregadas negativamente” (A26 – Questionário 2).

Ao analisarmos a resposta desse mesmo estudante na avaliação formal, percebe-se que ele define os orbitais atômicos da seguinte forma: “são regiões de energia em que se encontram os elétrons, cada orbital é representado por um número quântico inicialmente proposto por Bohr ($n=1$, $n=2$, etc) e ‘subcamadas’ que são representados por letras (s, p, d, f) que determinam a quantidade máxima de elétrons que podem ser encontrados naquela camada” (A26 – Avaliação formal). Desse modo, entende-se que, para A26, os elétrons estão em camadas entendidas como regiões fixas ao redor do núcleo. Mesmo que ele mencione os subníveis, não expressa em sua resposta que o elétron não pode ser localizado com precisão, demonstrando que o modelo compreendido por ele deve ser o de Bohr.

A fala dos estudantes A1 e A27 indicam a proposição de Rutherford para o átomo, apenas com as regiões do núcleo e eletrosfera.

Sendo uma unidade básica da matéria consiste de núcleo, prótons, nêutrons, elétrons que estão na eletrosfera (A1 – Questionário 2).

O átomo é composto por um núcleo e uma eletrosfera. No núcleo ficam os prótons e os nêutrons. Na eletrosfera ficam os elétrons (A27 – Questionário 2).

Ambos os estudantes não realizaram a avaliação formal, portanto não há como comparar as suas respostas. No entanto, mesmo nesse questionário, fica claro que, para eles, o átomo possui a estrutura núcleo/eletrosfera como proposto por Rutherford. Nesse caso, não podemos considerar que seja uma visão errônea, mas

incompleta, uma vez que, no modelo atual, entende-se de modo mais abrangente do que foi apresentado pelos estudantes.

Na segunda categoria, “Átomo como partícula minúscula”, podem-se notar ainda algumas ideias a respeito da indivisibilidade do átomo. O estudante A42 apresenta a ideia de que o átomo é uma partícula minúscula, como mostrado no seguinte fragmento:

O átomo é partícula que fascina o homem a questionar a sua origem. O átomo é talvez a forma que temos de explicar o universo: quando estudamos uma ‘coisa’ minúscula podemos entender uma outra maior. O desenho representa o quanto é incerto a respeito do átomo e sobre nosso conhecimento sobre suas propriedades (A42 – Questionário 2).

Figura 7 - Representação do átomo do estudante A42



Na avaliação formal, A42 apresenta uma concepção diferente e mais elaborada acerca da estrutura atômica:

[...] o conceito de orbital atômico da-se esse nome ao modelo apresentado Bohr, onde é possível encontrar-se os elétrons de um átomo, ou seja, é a possível órbita do elétron em torno do núcleo de um átomo. Este este conceito usa nome orbital, sendo como referência utilizada de forma macroscópica as orbitas do corpo celeste em torno de um astro principal, no caso do sistema solar o astro principal é o Sol (A42 – Avaliação formal¹⁷).

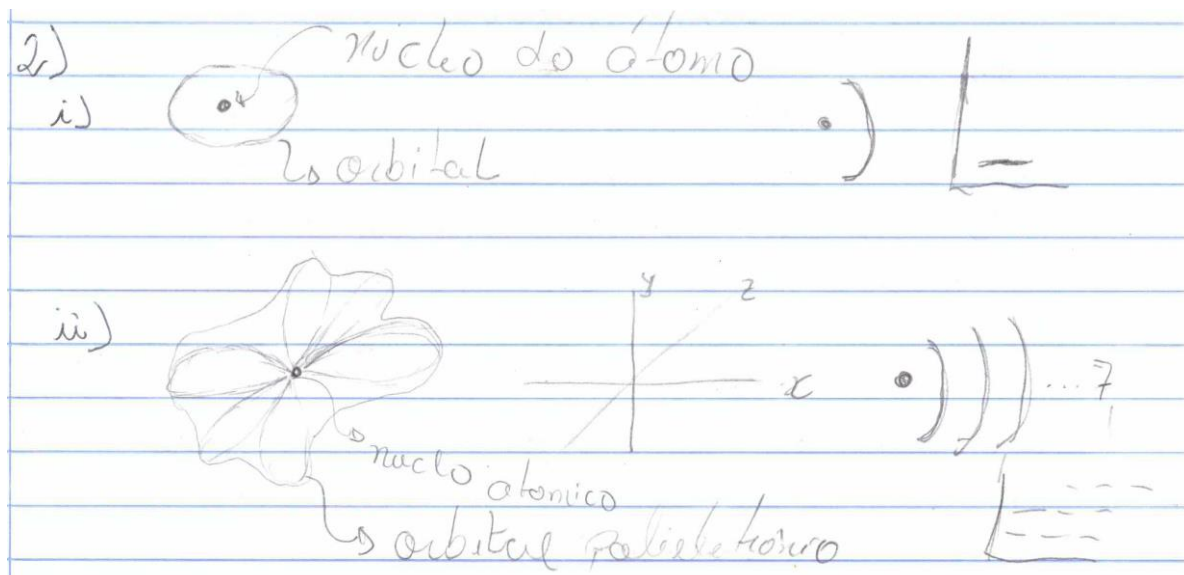
Percebe-se uma característica bastante realista ingênua na visão de A42, quando trata o átomo como “coisa” minúscula para explicar o desenho do átomo e

¹⁷ Não foi realizado nenhum tipo de correção na escrita dos estudantes e, com isso, há palavras repetidas e escritas de forma errada nessa citação, uma vez que foi dessa forma que o estudante escreveu.

quando cita a analogia do modelo planetário para explicar o conceito de orbital. Nesse caso, podemos supor indícios do obstáculo realista, uma vez que tal estudante precisa de algo concreto e visível para entender e, conseqüentemente, explicar o conceito.

Outro aspecto importante que também pode ser ressaltado é que, quando o estudante A42 diferencia um átomo monoelétrônico de um polieletrônico para responder uma questão da avaliação, ele utiliza apenas a representação por meio de desenho para explicar a questão, sem discussão sobre o significado das diferenças solicitadas pelo professor na pergunta, como pode ser observado na figura 8.

Figura 8 - Representação de A42 sobre a diferença entre um átomo monoelétrônico de um polieletrônico (Avaliação formal)



Na representação sobre o átomo monoelétrônico, apresentada na parte i da resposta, é possível perceber um formato esférico. Considerando que A42 pode ter pensado que, por possuir apenas um elétron, ele estaria localizado no orbital 1s, tal motivo pode explicar o fato de ter desenhado de modo esférico, uma vez que esta é a forma de maior probabilidade de densidade eletrônica para esse orbital. No caso da figura da parte ii, possivelmente esse estudante pensou em um átomo que tenha no mínimo três elétrons, pois seu desenho tem uma outra forma, que seria correspondente à densidade eletrônica do orbital p.

Pode-se notar, inclusive, que ele faz o plano cartesiano como se fosse uma referência para a representação, pois a coloca ao lado do desenho. No entanto, o estudante representa ao lado dos desenhos o modelo de camadas, mostrando que,

no primeiro caso, há apenas uma camada e, no segundo, pode-se ter até sete camadas. Essa ideia está em concordância com a ideia expressa na questão anterior da avaliação formal, em que, ao invés de explicar o conceito de orbital, utiliza-se da definição das órbitas.

Em relação ao estudante A42, não é possível inferir como este realmente pensa o átomo, pois em três momentos distintos, apresenta três visões de modelos atômicos. No entanto, é possível identificar o obstáculo realista na explicação do conceito de átomo, pois nos três excertos analisados, há indícios desse realismo, quando menciona a “coisa” minúscula, a analogia e a representação visual sem nenhuma explicação adicional. Esses indícios também podem estar associados ao obstáculo verbal, pois a palavra e a imagem dão lugar à explicação, como destacamos na seção 3.2.2.

O estudante A36, como pode ser identificado na fala a seguir, entende o termo partícula como algo muito pequeno:

“Os átomos são **minúsculos**, tão **pequeno** quanto um **grão de areia**. E muito bem estudado pelos conceitos químicos.” (A36 – Questionário 2).

Essa resposta indica uma visão bastante simplista acerca do átomo, que não seria esperada nesse nível de ensino, uma vez que o estudante passou por toda a formação básica e já havia discutido aspectos sobre o átomo na disciplina em que a pesquisa ocorreu. Nesse caso, podemos inferir que sua visão é característica do realismo ingênuo, discutido por Bachelard, como uma explicação que parte do senso comum, das observações sensoriais e talvez, por isso, mencione o grão de areia.

Esse estudante não respondeu à questão referente à explicação do conceito de orbital atômico e dos números quânticos na avaliação formal. Pelo fato de não termos nem uma tentativa por parte do estudante em responder tal questão, pode-se inferir que, embora tenha passado pelo processo formativo na educação básica e nos estudos feitos durante um bimestre no ensino superior, ainda predomina uma dificuldade na discussão do conceito de átomo na avaliação formal. Desse modo, A36 apresenta uma concepção realista, identificada na resposta do questionário 2, indicando como o obstáculo pode levar ao erro conceitual e dificultar a evolução conceitual do estudante. Nesse sentido, Bachelard discute que

[...] o corpúsculo não tem dimensões absolutas determináveis: só se lhe atribui uma ordem de grandeza. Essa ordem de grandeza determina antes uma zona de influência que uma zona de existência. Ou, mais exatamente, o corpúsculo só existe nos limites do espaço em que atua (BACHELARD, 1951 apud LEUCORT, 1977, p. 53).

A partir das categorias aqui analisadas na perspectiva bachelardiana, temos indícios de obstáculos epistemológicos, que podem interferir no processo de ensino e aprendizagem e serão discutidos na seção 3.2.

Para responder nossa questão de pesquisa, exploraremos, na seção 3.3, a discussão acerca do fenômeno da queima do magnésio, realizada no trabalho de campo com o objetivo de identificar como os estudantes utilizam o conhecimento de estrutura e parâmetros atômicos para explicar aspectos sobre reação e ligação química.

3.2 OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS E O PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Foi possível identificar, nos diversos instrumentos de coleta de dados utilizados neste estudo, algumas concepções e conceitos errôneos, sendo que alguns têm sua origem atribuída aos obstáculos epistemológicos. Oliveira (1995, p. 8) define os obstáculos epistemológicos como “[...] crenças, hábitos e heranças culturais que no curso da história entravaram o progresso do saber”.

Um ponto bastante importante que Bachelard destaca em sua vasta obra é a relação entre os obstáculos epistemológicos e o erro. Assim, faz-se necessário refletir sobre as diferenças entre ambos, uma vez que pode haver, de fato, uma conexão entre o obstáculo epistemológico e o erro.

Neste caso, o erro relacionado ao obstáculo epistemológico não se trata de um erro proveniente de uma falha de memória, causado por um cansaço mental ou físico, uma desatenção; enfim, aqueles erros que cometemos em diversas situações e, logo em seguida, nos damos conta deles.

No entanto, há algumas concepções errôneas às quais podemos atribuir outros princípios, tais como as dificuldades de lidar, em certos momentos, com a natureza do conhecimento que se estuda. Nesse sentido, podemos estabelecer que o erro foi gerado por obstáculos epistemológicos.

Conforme afirma Bachelard (1996), a superação dos obstáculos pode ser feita por meio de questionamentos e reflexões realizadas, por exemplo, quando se estuda determinado conceito. No entanto, uma grande questão que devemos pensar como professores é lidar não apenas com os aspectos científicos de determinado conhecimento, mas também com seus aspectos epistemológicos e filosóficos, de modo a chamar a atenção dos estudantes aos aspectos relativos à própria natureza do conhecimento científico.

Com relação ao conceito de átomo, objeto desta pesquisa, há uma série de obstáculos que podem surgir justamente pela natureza desse conhecimento. O primeiro aspecto a ser considerado sobre essa questão seria a noção de modelo como uma construção de teoria para explicar o que está à nossa volta. Conforme Melo e Lima Neto (2013), uma das grandes dificuldades de lidar com o conhecimento químico é entender que os modelos foram elaborados e não descobertos pelos cientistas.

Considerando o que temos discutido ao longo deste trabalho, um importante aspecto acerca da natureza da ciência é que ela é uma construção humana e, por isso, está sujeita a constantes transformações. Podemos perceber claramente esse aspecto quando observamos os diversos modelos atômicos presentes, por exemplo, nos livros didáticos. Além disso, vale destacar que ao longo do desenvolvimento desse conceito, vários modelos propostos em diferentes momentos históricos não aparecem nos livros, como é o caso dos modelos propostos por Arnold Sommerfeld (1868-1951) ou o de John William Nicholson (1881-1955).

Nesse sentido, devemos questionar: O que é um modelo? Por que o conceito de átomo necessita ser discutido por meio de modelos? Por que há uma série de modelos atômicos? O que faz com que um modelo seja substituído pelo outro? Há um modelo mais adequado? O último modelo é o melhor? Frente a tais questões e também aos desafios de ensinar esse conceito químico, podem surgir alguns obstáculos epistemológicos, que, se não forem discutidos adequadamente, podem interferir no processo de ensino e aprendizagem.

Desse modo, serão apresentados, a seguir, alguns obstáculos epistemológicos identificados a partir da análise de conteúdo das respostas dadas pelos estudantes nos diferentes instrumentos de coleta de dados.

3.2.1 Obstáculo realista

Identificamos o obstáculo realista quando o estudante assume como real concreto um modelo abstrato. Além disso, consideramos que este é o primeiro grande desafio dos educadores ao lidar com tal conceito: discutir sobre a natureza dos modelos atômicos.

Bachelard discute sobre a realidade do átomo quando menciona que não se pode determinar uma zona de existência do elétron, mas uma zona de influência. Quando falamos em real, podemos entender de diversas maneiras, como já foi discutido no primeiro capítulo.

Na teoria atômica, não lidamos com aspectos macroscópicos, justamente por ser uma teoria de abstração. Portanto, quando o estudante trata o átomo nessa perspectiva do real concreto, do real do mundo macroscópico, podemos ter indícios de um obstáculo ao aprendizado da ciência química.

Se pensarmos no real no mundo atômico, devemos entender que esse real não é no sentido concreto, não é o real das experiências macroscópicas, mas se trata de um real construído a partir de técnicas desenvolvidas para elaborar um real abstrato, fruto da fenomenotécnica. Conforme Bachelard (2010, p. 23), “[...] as provas topológicas do realismo, as mais simples de todas e também as mais fundamentais, falham já quando se quer precisá-las no âmbito da experiência comum [...]. Vamos portanto estudar [...] o problema da localização do real tal como é proposto, em microfísica, pelo princípio de Heisenberg”.

Pode-se indicar a presença do obstáculo realista nas palavras mencionadas pelos estudantes no questionário 2 que, na opinião dos estudantes, tem relação com o conceito de átomo. Dentre as afirmações, podemos destacar as palavras pequeno, esfera, maciço, uma vez que os estudantes buscaram com essas palavras dar um formato espacial para o átomo e, conforme Bachelard (2010) discute, há um problema na localização do nível atômico que deu origem ao princípio da incerteza proposto por Heisenberg.

Ainda podemos destacar algumas proposições que Bachelard faz acerca dos corpúsculos (elétrons) em “Atividade racionalista da física contemporânea” de 1951 (BACHELARD, 1951 apud LECOURT, 1977):

- O corpúsculo não é um corpo minúsculo (p. 52);

- O corpúsculo elétrico não é um pequeno corpo carregado de eletricidade (p.53);
- O corpúsculo não tem dimensões absolutas determináveis: só se lhe atribui uma ordem de grandeza (p. 53);
- Se o corpúsculo não tem dimensões determináveis, não há forma determinável (p.54);
- Dado que não se pode atribuir forma determinada ao corpúsculo, segue-se que não lhe pode atribuir lugar muito preciso (p.54);

Isto posto, pode-se notar que a teoria moderna se distancia do realismo, do espacial, do geométrico. Bachelard discute ser necessária uma nova forma de pensar para entender o átomo e o comportamento do elétron na ciência contemporânea. Pietrocola (2014), ao discutir sobre o estudo das teorias quânticas da matéria, argumenta que esses conhecimentos vão contra o cotidiano, pois exigem um racionalismo abstrato que não é comum no nível macroscópico.

A noção de que o átomo seja constituído por corpúsculos deve ser problematizada, visto que essa palavra pode indicar o corpúsculo como algo minúsculo. Se o corpúsculo não é minúsculo, Bachelard afirma que seria possível apenas atribuir uma ordem de grandeza, uma vez que não possui dimensões absolutas determináveis e, conseqüentemente, uma forma determinável. Em suas palavras, “[...] o *elemento não tem geometria*. Esse fato deve ser posto na base da filosofia corpuscular moderna. É de grande novidade filosófica” (BACHELARD, 1951 apud LECOURT, 1977, p. 54).

Outro termo frequente nas palavras mencionadas pelos acadêmicos é indivisível, que pode se tornar uma contradição, quando o mesmo estudante também menciona as partículas subatômicas e as regiões do átomo, conforme apresentado na figura 9:

Figura 9 - Acadêmicos que apresentaram a palavra indivisível em contradição com outros termos

núcleo	(1)	indivisível.	(04)
pietons	(3)	indivisível	(05)
neutrons	(2)	núcleo	(01)
elétrons	(4)	orbital	(02)
indivisível	(5)	elétrons	(03)

a) A12

elétrons	(04)
indivisível	(05)
núcleo	(01)
pietons	(02)
neutrons	(03)

c) A27

b) A22

menor partícula	(1)
elétrons	(3)
núcleo	(4)
Dalton	(2)
indivisível	(5)

d) A31

Embora tenham mencionado o termo indivisível, esses estudantes atribuem ordem 4 ou 5 de importância, o que indica que, mesmo mencionando a palavra indivisível, não significa que entendam o átomo como indivisível, mas que se trata de uma palavra bastante comum no contexto escolar dos estudantes: até a própria ênfase dada ao significado da palavra átomo reforça a relação direta do termo indivisível com o conceito de átomo. No entanto, quando a palavra indivisível aparece em conjunto com as partículas subatômicas, surge então uma contradição. Como o átomo pode ser indivisível e ser composto por partículas ainda menores?

Vários estudos revelam que estudantes do ensino médio e do superior apresentam dificuldades para compreender modelos abstratos da matéria, como é o caso dos modelos atômicos, e afirmam que muitos estudantes relacionam com frequência a noção de átomo aos termos indivisível, esfera, pequeno, partícula, bolinhas (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009; MELO; LIMA NETO, 2013; HADŽIBEGOVIĆ; GALIJAŠEVIĆ, 2013).

França, Marcondes e Carmo (2009), em pesquisa sobre a concepção de átomo de estudantes do último ano do ensino médio, afirmam que 23% deles compreendiam o modelo atômico de Dalton e relacionavam os termos pequeno, esfera e indivisível

ao referido modelo. Melo e Lima Neto (2013), ao investigar sobre as dificuldades de aprendizagem acerca do conceito de átomo, identificaram que 62% dos estudantes do ensino médio comparam o átomo a bolinhas. Tais resultados estão de acordo com nossa pesquisa, uma vez que muitos estudantes utilizam os termos: o átomo é pequeno, esférico e indivisível.

Hadžibegović e Galijašević (2013) investigaram como os estudantes ingressantes no curso de química entendem a estrutura atômica da matéria na Bosnia e Herzegovina, sendo que quatro de cinquenta e oito estudantes explicaram o átomo como uma pequena esfera, característica do modelo de Dalton. Já nas representações, não há nenhuma referência ao modelo de Dalton, sendo que os resultados indicam maior proporção de representação (78%) do modelo de Rutherford, seguido do modelo quântico (14%), do modelo Bohr (5%) e do modelo de Thompson (3%). De acordo com Hadžibegović e Galijašević (2013, p. 54, tradução nossa),

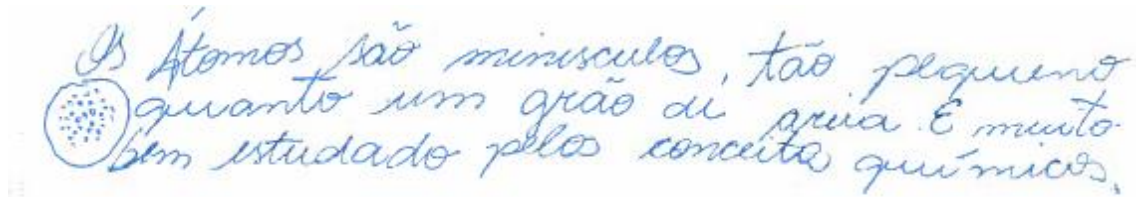
Uma possível razão para o fato que apenas alguns alunos representaram suas imagens de átomos de acordo com o modelo científico moderno do átomo é que, os alunos têm normalmente dificuldades para entender partículas da matéria que eles não podem ver. Em outras palavras, qualquer conceito abstrato sobre um assunto é muito difícil para eles entenderem.

Tais resultados também podem ser percebidos nos estudantes do Ensino Superior, como revela nossa pesquisa, indicando que, mesmo tendo avançado no nível de ensino, ainda carregam uma noção realista sobre o átomo, que, em alguns momentos, pode indicar um erro conceitual na discussão sobre modelos atômicos.

A ideia de átomo como partícula pequena e indivisível pode ter sua origem atribuída ao obstáculo realista, por exemplo, ao considerar o átomo como uma pequena esfera e comparando-a, por exemplo, com a famosa analogia da bola de bilhar, grãos de areia etc.

Bachelard (1933 apud FERREIRA, 2013) destaca que a ideia de átomo dos filósofos gregos teve sua origem na observação da poeira, e essa ideia está totalmente associada ao senso comum, ao realismo ingênuo. Acerca desse aspecto, podemos destacar a seguinte resposta:

Figura 10 - Representação e explicação de A36 do átomo



A representação tem o formato da esfera, que possui alguns pontos que podem ser entendidos como os elétrons do modelo de Thompson. Nota-se, nessa resposta, uma visão errônea, uma vez que ele imagina o átomo como algo pequeno no sentido de “coisa”, ou real concreto, a qual Bachelard define como umas das noções-obstáculos para compreender o átomo.

Assim, o obstáculo realista foi identificado nas concepções de átomo como pequeno ou como indivisível. Conforme categorizado na sessão anterior, cerca de 20% dos estudantes apresentam uma das duas ou as duas noções realistas de átomo. Essa visão pode ser confirmada por meio das palavras pequeno, partícula, esfera, maciço, indivisível, mencionadas pelos estudantes; além disso, há representações e explicações do átomo como uma bolinha. Foi possível identificar o obstáculo ou pensamento realista ingênuo nos resultados desta pesquisa. Primeiro, porque é uma característica do próprio conceito em si, e também porque as estratégias de ensino utilizam analogias que, se não problematizadas ao longo do processo de ensino e aprendizagem, podem corroborar os resultados de pesquisa apresentados.

De fato, o obstáculo realista se faz bastante presente quando discutimos o conceito de átomo, visto ser teorizado a partir de modelos. Nesse sentido, destacamos que, em sala de aula, deve-se, antes de discutir sobre os modelos atômicos, trazer uma discussão filosófica sobre o que é um modelo e o porquê da necessidade de estudar a matéria por meio de um modelo. Entendemos que esta seria uma das formas de lidar com o obstáculo realista no processo de ensino e aprendizagem.

3.2.2 Obstáculo verbal

Na pesquisa, o obstáculo verbal fica evidente quando o uso de analogia é privilegiado em relação a uma explicação teórica e racional, como pode ser observado na resposta de A8 ao mencionar a analogia do pudim de passas como um dos termos relacionados ao conceito de átomo. Se a analogia do “pudim de passas” for utilizada

pelos estudantes como substituta de uma explicação lógica sobre o conceito, então, ela pode se constituir no obstáculo verbal.

Bachelard (1996, p. 101) destaca que “[...] o perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; [...] tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem”. Dessa forma, uma analogia até pode ser utilizada para auxiliar na compreensão do conceito por meio de algo que seja mais familiar ao estudante, mas não deve substituir o conceito. Entendendo que o termo foi mencionado por esse estudante, mesmo com toda sua trajetória no ensino de química, a imagem do pudim de passas pode ser considerada indício do obstáculo verbal.

Ao responder a uma questão da avaliação formal, o estudante A42 utiliza a analogia do modelo planetário para explicar o conceito de orbital, como segue:

“Este conceito usa o nome orbital, sendo como referência utilizada de forma **macroscópica** as **orbitas do corpo celeste em torno de um astro principal**, no caso do **sistema solar** o astro principal é o Sol” (A42 – Avaliação formal).

Embora esse estudante mencione que se trata de uma referência no mundo macroscópico, ao utilizar essa analogia, A42 não considera necessário explicar ou mesmo discutir como seria o átomo e, caso o estudante não seja capaz de dar uma explicação científica acerca do conceito, dentre outros aspectos, poderíamos atribuir essa dificuldade à existência de um obstáculo de natureza verbal.

Os obstáculos verbais no ensino de ciências são mais frequentes do que se imagina, pois a própria linguagem científica não é algo comum, há uma ruptura entre a linguagem cotidiana e a linguagem científica. Trata-se de um grande desafio lidar com a linguagem científica, pois como é importante a apropriação de conhecimentos científicos no processo de ensino e aprendizagem, isso não deve ocorrer de modo mecânico, com a valorização excessiva de nomes, fórmulas e analogias, que podem prejudicar a aprendizagem.

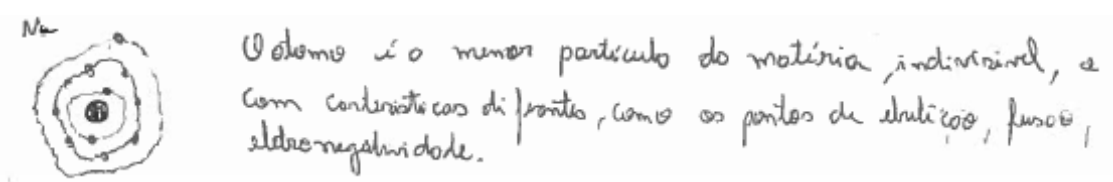
Diante da reflexão posta, deve-se sempre priorizar a explicação racional em nível atômico e molecular. Desse modo, valorizar a linguagem científica significa desenvolver um pensamento químico e não memorizar termos científicos. Para Bachelard (1996, p. 48), “[...] o espírito científico deve lutar sempre contra as imagens, contra as analogias, contra as metáforas”.

Embora o obstáculo verbal não seja identificado em um número significativo de estudantes, é importante destacar a identificação desse obstáculo, uma vez que a utilização indevida de analogias dos modelos atômicos, em qualquer nível de ensino, pode interferir na aprendizagem dos conceitos químicos, quando não ultrapassa a imagem concreta. Pensando ainda no curso de licenciatura em química, esses estudantes, se não tiverem tais concepções questionadas e problematizadas, podem, quando professores, reproduzir uma visão errônea acerca do átomo.

3.2.3 Substancialismo

O obstáculo substancialista pode ser identificado nas concepções de átomos dos estudantes em alguns momentos, por exemplo, quando o estudante atribui ao átomo propriedades físicas e químicas, como pode ser observado na Figura 11:

Figura 11 - Exemplo de obstáculo substancialista na resposta dada por A31



Quando A31 afirma que os átomos possuem características diferentes e menciona o ponto de fusão e de ebulição e a eletronegatividade, está atribuindo propriedades ao átomo, sendo que as propriedades não podem ser discutidas no nível de um átomo ou de uma molécula, mas no conjunto delas.

A química é uma ciência que possui uma intensa relação com as substâncias, no entanto a noção de substância é complexa, uma vez que passou por diversas mudanças durante o desenvolvimento científico. De acordo com Oliveira (1995, p. 8), "[...] desde Lavoisier a química tem sido vista como ciência que estuda as substâncias e suas propriedades. As bases da noção de propriedade substancial são mais antigas, no entanto, remontando à alquimia".

A substancialização remete às relações que existem entre o material e suas propriedades, sendo que, quando o pensamento é substancialista, atribui-se ao

material as suas características, como se ele, de fato, as possuísse, sendo independente das relações que possui com outros materiais.

Acerca desse aspecto, destacamos a discussão de Oliveira (1995, p. 9) quando menciona uma definição comum sobre substâncias:

Sendo o substancialismo uma crença bastante enraizada, a literatura didática de química tem se utilizado dele fartamente. Quando definem molécula, os livros geralmente apresentam conceitos como: 'a menor parte da substância capaz de guardar suas propriedades'. A partir de definições desse tipo, a ideia transmitida ao estudante é a de que o constituinte isolado (molécula) contém em si os atributos do todo. Entretanto, como dizer que a molécula de água possui densidade, pressão de vapor, tensão superficial, pontos de fusão e ebulição etc? Tais propriedades pertencem ao conjunto, isto é, manifestam-se nas relações que as moléculas mantêm entre si. De modo geral, podemos dizer que a substância não é nada em si mesma e que as características que lhe atribuímos se constituem, na verdade, em produto de um *jogo relacional*. Tanto é assim que a acidez de um ácido só tem sentido químico quando mencionamos o solvente. Não existem ácidos por si, mas algo é ácido em relação a alguma outra coisa.

Como destacado na Figura 11, A31 apresenta o obstáculo substancialista quando atribui as propriedades ao átomo e não ao conjunto, que pode ser caracterizado como um erro.

Também depreendemos dos resultados da nossa pesquisa que o modelo mais representado pelos estudantes foi o modelo de Bohr, com as camadas e os elétrons em órbitas. Essa ideia aparece também com muita frequência na avaliação formal, quando os estudantes tentavam uma explicação para orbital atômico, por meio da definição de órbita. Das respostas à questão, que solicitava que os estudantes definissem o orbital atômico, 30% dos estudantes utilizaram-se da definição de órbita, 26% definiram corretamente o orbital, 23% dos estudantes não responderam a essa questão e 21% responderam, mas sem explicitar o que seria ou como entendem o orbital.

Esses resultados denotam uma visão ainda espacial das regiões fixas ao redor no núcleo, como pode ser observado em algumas respostas:

O conceito de orbital atômico surgiu a partir do modelo atômico 'planetário' proposto por Rutherford onde ele afirmava que os **elétrons giravam ao redor do núcleo assim como os planetas ao redor do Sol**. Porém esse modelo apresentava alguns problemas, foi então que Bohr propôs que os **elétrons giravam em torno do núcleo** sim mas

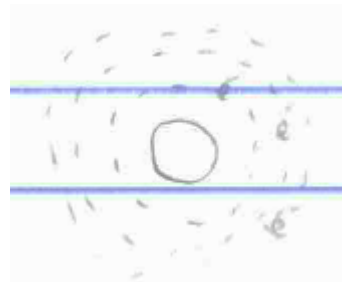
em orbitais com determinada quantidade de energia, o que explicaria o porque de os elétrons não se chocarem com o núcleo (A23 – Avaliação formal).

Todo átomo possui núcleo e orbitais atômicos, que é formado por elétrons com carga negativa divididos em **camadas** em um espaço tridimensional e elétrons são atraídos pelo núcleo e exercem repulsão entre si causando movimentos orbitais como os **planetas em volta do sol** (A31 – Avaliação formal).

A orbita atômica é onde estão localizados os elétrons. Existe um núcleo que envolta estão '**camadas**' com elétrons que se movimentam ao redor (A35 – Avaliação formal).

A resposta de A35 foi acompanhada pelo seguinte desenho, no qual ficam evidentes as camadas ao redor do núcleo:

Figura 12 - Representação feita por A35 para explicar o conceito de orbital atômico na avaliação formal



De acordo com Lopes (1993a, p. 316),

[...] os termos 'camada' ou 'nível', utilizados em textos que discutem o modelo quântico para o átomo, não podem ser compreendidos da mesma forma que o seriam se discutíssemos o modelo de Rutherford ou Bohr. Por sua vez, a palavra 'orbital' deriva do termo 'órbita' e com ele rompe completamente.

Entendemos que, na química, bem como no estudo do conceito de átomo, é importante entender e dessubstancializá-lo, uma vez que é isso o que a teoria quântica propõe: uma racionalização e matematização do conceito, que por ser abstrato, pode gerar obstáculos epistemológicos que têm, em sua essência, a ideia da substância, mas que podem ser reforçados com obstáculos realistas e verbais.

Desse modo, podemos entender que o substancialismo ainda é um dos principais obstáculos para a compreensão do modelo atômico atual, pois o modelo quântico é totalmente desprovido de qualidades substanciais, uma vez que exige

abstração e está centrado em funções matemáticas e probabilísticas. Lopes (1993a, p. 323) destaca que

[...] com o advento da Mecânica Quântica, o substancialismo perde de vez o sentido. Cada elétron é individualizado na substância por números quânticos a partir de cálculos probabilísticos. O objeto do estudo químico se matematiza: a substância, na sua complexidade matemática, é pouco mais do que uma chance de reação.

Acerca desse aspecto, Bertoche (2006) destaca que, na teoria quântica, a equação de Schrödinger formulada em 1926 destituiu a substancialização do átomo:

Com a equação de Schrödinger, o átomo deixa de ser substancial, deixa de ser imagem concreta. A equação de Schrödinger transforma a órbita substancial do elétron em densidade de probabilidade de uma partícula em certo ponto, em certo instante. Aí já se nos apresenta uma forma de ciência dessubstancializada (BERTOCHE, 2006, p. 69).

Assim, a superação do obstáculo substancialista em sala de aula deve ter constante atenção do professor, alertando os estudantes para essa característica da ciência contemporânea. Como afirma Oliveira (1995), na química, não podemos dizer que nada é isto ou aquilo, mas que o poderá ser em relação a este ou aquele. A química não é a ciência da exatidão, mas da possibilidade, da probabilidade. Por fim, destacamos a seguinte reflexão feita por Oliveira (1995, p. 10-11) acerca do ensino de química:

A química é, pois, como toda ciência, um caminho pedregoso, árdua trilha de construções inacabadas. Afinal, o homem progride porque sua inteligência é capaz de vencer desafios, não porque se devota a desvelar segredos ocultos na noite das verdades universais. Se a química contemporânea é uma ciência que se constrói através do diálogo entre razão e empiria, seu ensino não pode ficar centrado na monologia, seja na enfadonha monologia das classificações, das memorizações, das conceituações dogmáticas ou na monologia dos experimentos que 'falam' através de efeitos fascinantes mas na verdade nada dizem... O professor precisa, portanto, superar através do diálogo seu principal *obstáculo pedagógico*, ou seja, deve passar a compreender as razões pelas quais o aluno não compreende. Só assim ele poderá realizar, segundo ressalta Bachelard (1975)¹⁸, um verdadeiro 'voto secreto', indispensável ao sucesso de qualquer processo pedagógico: nunca se colocar como dono do saber, mas sempre na condição de estudante.

¹⁸ Citado por Oliveira (1995): BACHELARD, G. *Le rationalisme appliqué*. Paris, P.U.F., 1975.

3.3 IMPLICAÇÕES NA APRENDIZAGEM DE LIGAÇÕES QUÍMICAS

Buscaremos analisar como os obstáculos epistemológicos influenciam na aprendizagem de outros conhecimentos químicos, como os conceitos de ligação química e reação química, por meio da análise da atividade da queima do Magnésio, realizada em 28 de março de 2014, com 35 estudantes, somando as duas turmas. Na aula indicada, após os estudantes terem assistido a um vídeo que mostrava a queima de um pedaço de magnésio, eles discutiram a seguinte questão: “Depois de assistir ao vídeo da queima de magnésio, responda: Considere os parâmetros atômicos do magnésio e discuta o fenômeno observado com um olhar microscópico”. Nesse momento, os estudantes tentaram responder individualmente a questão proposta e, após essa etapa inicial, puderam discutir com os colegas sobre suas ideias.

O fenômeno de queima de magnésio é muito interessante, uma vez que a queima desse metal provoca a emissão de uma luz esbranquiçada de modo bastante intenso. Como consequência, as explicações dadas à questão proposta, de certo modo, buscavam discutir os motivos para ocorrer a emissão de luz. As categorias foram estabelecidas *a posteriori* sobre as hipóteses dos estudantes e encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Categorias representativas das explicações dos estudantes para o fenômeno da queima do magnésio

Categoria	Número de estudantes
I. Salto de elétrons de camada mais externa para camadas mais internas	13
II. Reação do magnésio com o oxigênio	5
III. Fusão do magnésio	4
IV. Reação química	3
V. Emissão do corpo negro	2
VI. Efeito fotoelétrico	2
VII. Característica do metal (emitir brilho)	2
VIII. Metal emite luz ao entrar em contato com a chama	2

Para fazer a análise das categorias apresentadas na Tabela 3 com base na epistemologia de Bachelard, buscaremos analisar os dados, no que se refere à concepção de átomo apresentada pelos estudantes no questionário 2 e na avaliação formal, comparada às respostas apresentadas para a explicação do fenômeno. Assim, utilizamos como pressuposto que a maneira como o estudante entende o átomo deve estar presente nas suas explicações do fenômeno.

I. Salto de elétrons de camada mais externa para camadas mais internas

Essa foi a categoria mais citada (37%) para explicar o fenômeno da queima do magnésio. Possivelmente, a explicação do fenômeno por meio do salto foi frequente devido à luz emitida após a queima. Quando o estudante utiliza essa explicação, podemos entender que compreende o átomo de acordo com o modelo de Bohr, mais representado pelos estudantes. Nesse caso, a compreensão das camadas no átomo pode levar à explicação sobre a luz emitida ao salto dos elétrons. Essa ideia pode ser observada nos seguintes fragmentos:

Um cátion, como por exemplo, o Mg^{2+} , tem camada de valência 3s com dois elétrons. Esses elétrons quando recebem uma quantidade de energia suficiente ficam excitados, pulando de uma camada a outra até chegar seu estado fundamental, e liberando toda energia absorvida através de luz (fótons) (A2 – Questionário 3).

Figura 13 - Explicação do estudante A2 acerca da queima do Magnésio



Na análise da concepção de átomo do estudante A2, este o caracteriza como composto por orbitais no questionário 2 e utiliza a definição de camadas na avaliação formal. Nas questões pertinentes à atividade da queima do magnésio, o estudante A2 utiliza a ideia de camadas fixas na explicação para o fenômeno observado. Desse modo, podemos entender que a sua compreensão do átomo se dá por meio das

camadas ao redor do núcleo. Acerca da explicação feita por A2 para a explicação da queima do magnésio, pode-se notar que ele faz uso de uma representação para explicar o salto dos elétrons, como pode ser observado na Figura 13. No entanto, não foi solicitado na questão que fossem realizadas representações na questão proposta; mesmo assim, esse estudante considerou importante para sua explicação a representação do fenômeno.

Além desse estudante, podemos destacar a fala de A42, que explica o fenômeno por meio do salto nas camadas do magnésio, com cor referente ao comprimento de onda correspondente.

O que pode-se entender após a realização do experimento e que o magnésio está em um estado de 'equilíbrio', antes de ser colocado em contato com a chama. Após o contato com a chama o elétron do magnésio é agitado devido ao calor, geralmente os elétrons da última camada de valência do Mg, este pertencente a s^2 , dá um salto para a próxima camada devido ao aquecimento. Mas este mesmo aquecimento faz que o elétron tende voltar a sua camada original, ao seu estado de equilíbrio, assim a energia capturada pelo aquecimento é liberada em forma de luz. A cor é referente apresentada é a faixa de onda que este metal, ou melhor é, apresenta quando se torna sua camada original (A42 – Questionário 3).

Pode-se notar ainda que, na afirmação de A42, a energia que foi emitida é proveniente do aquecimento, quando menciona: "a energia capturada pelo aquecimento é liberada na forma de luz" (A42 – Questionário 3). A concepção desse estudante foi analisada na sessão 3.1, indicando a existência do obstáculo realista, que pode ter levado o estudante a cometer o erro conceitual de achar que só foi possível ver a luz porque ela foi fornecida pelo aquecimento. Além disso, com essa explicação, podemos entender que o estudante A42 concebe o átomo como proposto no modelo de Bohr, com as camadas ao redor do núcleo.

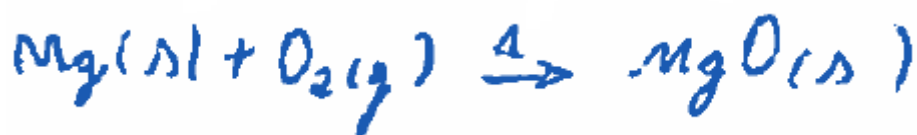
II. Reação do magnésio com o oxigênio

Parte dos estudantes (14%) mencionou que o fenômeno se tratava de uma reação química e explicitou quais os reagentes envolvidos; no entanto, não utilizou a nomenclatura da reação de oxidação, mesmo mencionando a reação com o oxigênio. Desse modo, entendemos que há um nível de compreensão maior, mas os estudantes ainda não visualizaram de que tipo de reação se trata. Esses estudantes

caracterizaram corretamente o fenômeno que observaram, contudo não explicaram de onde vem a luz observada, como pode ser evidenciado no fragmento a seguir:

O magnésio reage com o oxigênio do ar, formando o óxido de magnésio (MgO) que é um sólido (A47 – Questionário 3).

Figura 14 - Representação da reação do magnésio com o oxigênio proposta pelo estudante A47



O estudante A47, embora utilize em sua explicação a representação correta do fenômeno, não utiliza em sua fala elementos que caracterizem um pensamento químico, pois se utiliza de uma linguagem ainda macroscópica quando menciona apenas reagentes e produto. Esta é uma característica da química lavoisieriana¹⁹, que, embora tenha marcas de uma nova química, utiliza-se muito de aspectos realistas para caracterizar os fenômenos. Acerca desse aspecto, Bachelard (2008, p. 43) enfatiza que “no século XVIII, a Química é nitidamente materialista. [...] Para a maioria dos cientistas da época, a luz só pode ser uma matéria ou o atributo sensível de uma matéria”.

Outro estudante também caracteriza a reação do mesmo modo, porém considera que não há o processo de oxidação, pois utiliza, desde o início, o magnésio com número de oxidação 2+.

O magnésio tem número de oxidação 2+, como trata-se de um metal, na presença de oxigênio formará óxido. Então essa reação produzirá o óxido de magnésio. Nessa reação foi possível analisar uma chama intensa e branca e a mesma referia-se a formação da reação (A37 – Questionário 3).

¹⁹ Bachelard caracteriza a química lavoisieriana como marcada pelo substancialismo e pelo realismo, e discute em *A Filosofia do não* sobre a necessidade de superar essa marca da química do século XVIII.

Figura 15 - Representação da reação de oxidação do magnésio proposta pelo estudante A37



III. Fusão do magnésio

Alguns estudantes (11%) interpretaram o fenômeno como uma transformação do estado sólido para o líquido, ou seja, a fusão. Essa ideia é coerente quando se pensa que, para fundir qualquer material, é necessário fornecer energia, além do fato de haver uma transformação visual da matéria. Essa explicação denota uma concepção alternativa acerca das diferenças entre as transformações químicas e físicas, bastante comum no ensino de química (SILVA; SOUZA; MARCONDES, 2008). No entanto, pode ser fruto de um obstáculo epistemológico que Bachelard discute: a experiência primeira, vinculada àquilo que se pode observar macroscopicamente.

Foi possível identificar esse obstáculo na fala dos estudantes durante a discussão na atividade da queima do magnésio, como pode ser observado no seguinte trecho da aula:

Quadro 5 - Episódio de ensino da atividade da queima do magnésio

P: Houve realmente uma reação química? É uma pergunta. Temos que a reação química é oxigênio com magnésio formando óxido de magnésio. Como que você prova que a reação química aconteceu?

A21: Mudança de estrutura.

P: Mudança de estrutura é sinal de reação química?

A21: A estrutura que eu estou tentando me referir é a matéria, é as propriedades, ou seja, nós temos um outro produto.

P: Nós temos um outro produto. Então, vamos partir da seguinte questão: A reação química aconteceu. Aconteceu porque houve mudança na sua estrutura. Estrutura de quem? Do produto, do reagente? Já que é uma mudança qual era a estrutura inicial e qual é a estrutura final então?

A13: **Um pedacinho era reto, ele ficou distorcido.**

P: Um pedaço reto ficou distorcido? Isso é algo visível, mas de novo, nós estamos tratando de química e estamos relacionando com o que nós vimos até agora. Então do ponto de vista molecular, do ponto de vista atômico, qual é essa mudança? Sim senhor [nome do aluno], eu sei que você quer dizer, pode falar!

A1: [balança com a cabeça que não]

P: Não. Quem que você quer que responda?

A1: [balança com a cabeça que não]

P: Ninguém, a gente vai ficar olhando um pro outro aqui. A questão é a seguinte: que mudança que aconteceu? Vocês me falaram que houve uma mudança. **Ele era retinho, pelo que me falaram, e depois ficou distorcido.** Mas é só essa mudança? Que outra mudança você viu nesse caso? Além disso. Vocês me falaram aqui, ó, depois da queima tem **mudança de cor**. Então, agora o que eu quero de vocês é o seguinte: Que mudança ocorreu ali dentro?

A45: Eu tinha o magnésio metálico e durante a queima ele se transformou no óxido de magnésio, então ocorreu ali uma reação com o oxigênio.

No momento em que A13 menciona que a estrutura mudou, pois era reto e ficou distorcido, denota uma ideia apenas macroscópica, realista, e feita a partir das primeiras observações, constituindo-se os primeiros erros. Podemos notar que o professor, nesse momento, atenta para as mudanças no nível atômico e molecular, pois sua questão é saber se houve uma reação química, e um dos estudantes responde que, para saber, é necessário haver mudança de estrutura.

Essa ideia, apresentada durante a discussão, também esteve presente nas respostas dos estudantes ao questionário, como pode ser observado nos seguintes excertos:

O fenômeno observado, após o contato com o fogo, ele emite uma luz, a qual pode-se notar o magnésio metálico com uma **aparência distorcida**, uma vez que este **fundiu** (A3 – Questionário 3).

Magnésio perde elétrons, através da troca de energia onde acontece a **fusão do metal** (A8 – Questionário 3).

Em contato com o fogo, depois de um certo tempo ele emitiu uma luz forte, e após o fogo ter apagado e a luz emitida também, o **magnésio metálico se fundiu**, o que fica aparente devido sua **cor cinza claro**, e sua **aparência distorcida** (A19 – Questionário 3)

Esse fenômeno mostra a **mudança de estado da matéria do magnésio**, aonde foi exercido uma grande fonte de calor. O magnésio

obteve tanta energia que os átomos excitados, saindo de toda sua *organização cristalina*, emite luz (A34 – Questionário 3)

Nas respostas apresentadas, a fusão do metal aparece como a explicação, no geral, por conta da distorção ocorrida na estrutura. Este aspecto é bastante enfatizado também nas discussões em sala de aula, em que a mudança no formato do magnésio após a queima pode indicar tanto a mudança de estado físico como a transformação química para os estudantes. Fica evidente que há um erro conceitual sobre o fenômeno no que se refere às diferenças entre as transformações físicas e químicas, o que pode ter sua origem na experiência primeira, nas observações feitas apressadamente.

Neste caso, percebemos a influência do realismo do olhar nas respostas dos estudantes, associada ao obstáculo experiência primeira, em que os estudantes utilizam de conhecimentos do senso comum para explicar o fenômeno e não conseguem apresentar um nível de entendimento mais profundo.

Silveira (2003), em sua pesquisa sobre o conceito de substância, utilizando-se da epistemologia de Bachelard, discute que o realismo está associado à experiência primeira, argumentando que “um resultado, quando passível de verificação macroscópica (aos olhos do observador), torna-se então um argumento para o estabelecimento de uma ‘verdade’” (SILVEIRA, 2003, p. 27). Como exemplo, cita o seguinte experimento, objeto de nossas discussões.

[...] uma fita de magnésio existe (é real), ou seja, é um pedaço de metal de cor metálica que, ao ser queimado, podemos *verificar* sua transformação em luz branca e detectar a sobra de um pó branco, ou, generalizando em uma ‘verdade’, podemos dizer que determinados materiais (ou corpos) podem ser queimados transformando-se em calor, tendo seus aspectos alterados, em sua maioria, com nítida perda de massa. São conclusões obtidas a partir de dados reais verificados em função daquilo que podemos observar macroscopicamente (SILVEIRA, 2003, p. 27-28).

Na formação inicial em química, é fundamental que o licenciando adquira capacidade de desenvolver o pensamento químico. Isto é, que procure pensar nos fenômenos com uma visão no nível molecular, superando as ideias do senso comum e o realismo ingênuo, buscando desenvolver o racionalismo em suas explicações para o fenômeno. Nessa atividade, há ainda uma grande dificuldade por parte dos estudantes em pensar dessa forma, como é observado nas respostas.

Bachelard (1996) atenta que as primeiras observações dão origem aos primeiros erros e enfatiza que, para que haja superação desse obstáculo, é necessário realizar a psicologia do erro que, a nosso ver, seria a discussão sobre nossas concepções, nossos primeiros erros. Conforme o autor, “[...] o espírito científico deve formar-se enquanto se reforma” (BACHELARD, 1996, p. 29). Nas experiências científicas, deve-se sempre buscar uma reforma, questionando as hipóteses, testando-as, pensando em outras possibilidades. Assim, esses primeiros erros podem ser superados.

IV. Reação química

Cerca de 9% dos estudantes caracterizaram apenas a ocorrência de uma reação química, sem qualificá-la como combustão ou oxidação. Percebe-se que apresentam apenas a ideia de transformação da matéria, como pode ser observado no seguinte fragmento:

O metal recebe uma fonte de energia, fogo (calor), ocorre uma **reação química**, fazendo com que o metal absorva esta energia, emitindo em forma de luz (A11 – Questionário 3).

Nessa resposta, A11 mencionou que ocorreu uma reação química, mas não explicou sobre que reação se tratava. Embora seja uma noção importante, apenas atribuir a explicação à ocorrência de uma reação química não seria esperado nesse nível de ensino.

Outro fragmento que traz a ideia de reação química pode ser interpretado na resposta do estudante A40, quando menciona a ligação química:

As moléculas do fogo **se liga** com as moléculas do magnésio, formando luz (A40 – Questionário 3).

Para A40, essa reação ocorre entre as moléculas do fogo e as moléculas de magnésio, o que indica um erro conceitual. Neste caso, esse estudante entende que o fogo é constituído por moléculas, sendo que, na verdade, temos apenas o fornecimento de energia pelo aquecimento. Esse tipo de resposta denota a existência do obstáculo substancialista, pois atribui ao fogo a característica de ser composto por

moléculas. Nesse sentido, devemos pensar: o que é o fogo? O fogo tem moléculas? O fogo é uma substância? Se pensarmos quimicamente, o fogo é o produto de uma reação de combustão entre um combustível e um comburente, nada mais é do que energia na forma de calor.

No entanto, ao mencionar moléculas do fogo, o estudante A40 pode estar considerando o fogo como uma substância, indicando evidências do obstáculo substancialista. Nesse sentido, Bachelard (1996, p. 127) destaca que

A substancialização de uma qualidade imediata percebida numa intuição direta pode entravar os futuros progressos do pensamento científico tanto quanto a afirmação de uma qualidade oculta ou íntima, pois tal substancialização permite uma explicação breve e peremptória. Falta-lhe o percurso teórico que obriga o espírito científico a criticar a sensação. De fato, para o espírito científico, todo o fenômeno é um momento do pensamento teórico, um estágio do pensamento discursivo, um resultado preparado. É mais produzido do que induzido. O espírito científico não pode satisfazer-se apenas com ligar os elementos descritivos de um fenômeno à respectiva substância, sem nenhum esforço de hierarquia, sem determinação precisa e detalhada das relações com outros objetos.

Bachelard classifica o ato de substancializar como um obstáculo ao conhecimento, uma vez que faz com que a explicação do fenômeno se torne breve e falha, ao atribuir qualidades às substâncias. Dessa forma, quando o estudante A40 atribui ao fogo as moléculas, está assumindo que o fogo é uma substância que pode reagir, colocando-o ainda como um dos reagentes, em que o produto é a luz, que também pode ser entendida como substância.

V. Emissão do corpo negro

Cerca de 6% dos estudantes explicaram o fenômeno como sendo o efeito do corpo negro, como pode ser observado na resposta de A10.

O efeito ocorrido foi da **emissão de corpo negro**. Que se trata do efeito de um metal quando aquecido, seus elétrons ficam muito agitados e assim, essa agitação pode ser percebida pela emissão de uma luz muito forte. Depois de aquecido, rapidamente o magnésio começa a esfriar e assim, seus elétrons ficam menos agitados e emitindo praticamente luz nenhuma. E por estar em uma pequena quantidade pode ser 'facilmente' deformado' (A10 – Questionário 3).

Neste caso, pode-se notar uma explicação baseada no fenômeno normalmente discutido pelo professor da disciplina em sala de aula para explicar como foi proposta a constante de Planck no modelo quântico. Ao tratar sobre o conceito de emissão do corpo negro, Brown et al. (2005, p. 185) explicam que “[...] quando os sólidos são aquecidos eles emitem radiação [...]. No final do século XIX alguns físicos estudaram esse fenômeno, tentando entender a relação entre a temperatura e a intensidade e o comprimento de onda da radiação emitida”. Desse modo, podemos notar que a explicação do estudante possui uma lógica interna e é condizente com a definição do fenômeno. No entanto, em alguns casos, a expressão “emissão do corpo negro” é utilizada como um argumento de autoridade na resposta, como se fosse um conceito autoexplicativo. Porém, ao utilizar a palavra sem compreendê-la, há a associação com o obstáculo verbal, como observado no exemplo abaixo:

Ocorre uma reação química entre os materiais utilizados, a chama e o magnésio metálico, onde a interação entre os dois gera a emissão de luz. **Emissão do corpo negro e efeito fotoelétrico** são fenômenos semelhantes ao ocorrido (A5 – Questionário 3).

Quando o estudante utiliza essas palavras, tem a impressão de explicar o fenômeno, como ocorreu no exemplo do uso da palavra esponja citado por Bachelard (1996) e muito utilizada no século XVIII para a explicação de fenômenos elétricos. No entanto, apenas mencionar a palavra não se torna suficiente; é necessário explicá-la ou problematizá-la para que o obstáculo verbal não se configure.

VI. Efeito fotoelétrico

Alguns estudantes (6%) atribuíram ao fenômeno a ocorrência de um efeito fotoelétrico, como pode ser observado nos seguintes fragmentos:

É possível observar o **efeito fotoelétrico**, que possibilita **ver os elétrons** em forma de luz (A33 – Questionário 3).

O magnésio sendo exotérmico em contato com o O₂ forma um **efeito fotoelétrico** (A56 – Questionário 3).

Brown et al. (2005, p. 187) explicam o efeito fotoelétrico: “[...] quando fótons de energia suficientemente alta colidem com uma superfície metálica, elétrons são emitidos do metal”. Com base nessa definição, pode-se inferir que A33 tenha explicado que, a partir desse fenômeno, é possível ver os elétrons na forma de luz. No entanto, essa ideia apresenta-se bastante ingênua, apresentando indícios do obstáculo verbal, pois não se podem ver os elétrons. Sendo o átomo algo abstrato, como poderemos vê-lo? Sendo os elétrons muito menores do que os átomos, como poderemos vê-lo? Portanto, possivelmente esta expressão – “ver os elétrons” – pode até ser entendida corretamente por A33; no entanto, em sua resposta, essa expressão parece explicar o fenômeno.

O estudante A56 apresenta uma visão bastante simplista em sua explicação; além disso, indica erros conceituais na forma como a resposta está escrita. Talvez esse estudante possa até entender o fenômeno, mas possui dificuldade com a linguagem química, quando diz que o magnésio é exotérmico e não a reação química. Provavelmente, esse estudante saiba sobre as características de uma reação exotérmica e, assim, a classifica quando vê que ocorre a liberação de luz, mas em sua linguagem, não há elementos que permitam perceber se ele realmente compreende tais aspectos. Possivelmente, neste caso, a explicação por meio do efeito fotoelétrico se constitui em um obstáculo verbal, uma vez que a expressão apresenta um caráter autoexplicativo nas respostas.

VII. Característica do metal (emitir brilho)

Dois estudantes (6%) atribuíram a emissão da luz como sendo algo característico dos metais, como pode ser observado nos seguintes fragmentos:

Como o magnésio é um **metal** tem a capacidade de **emitir brilho** (A48 – Questionário 3).

Magnésio é um **metal de transição**, conduz eletricidade, brilho (A49 – Questionário 3).

Ambas as respostas denotam uma visão bastante simplista para esse nível de ensino e apresenta erros conceituais, tais como quando A49 classifica o magnésio como um metal de transição. Embora o brilho seja uma das características dos metais, a luz emitida da reação não pode ser atribuída a essa propriedade. Desse modo, pode-

se inferir a existência de um obstáculo substancialista, uma vez que A48 e A49 atribuem ao metal a luz que observaram no experimento.

Essa ideia está associada a um pensamento pré-científico e, conforme Bachelard, é um dos obstáculos mais difíceis de serem superados, pois se baseiam em uma filosofia fácil. Assim, seria necessário problematizar a luz observada no experimento e o brilho característico dos metais, que são conceitos diferentes. A ideia substancialista levou ao erro e, por isso, é necessária a problematização de concepções alternativas no ensino de química, visando à superação desse obstáculo.

VIII. Metal emite luz ao entrar em contato com a chama

Dois estudantes (6%) explicaram que, ao entrar em contato com a chama, o metal emitiria luz. No entanto, essa explicação não está baseada no conhecimento químico, mas apenas naquilo que se pode observar.

Quando o magnésio entra em contato com a chama, o mesmo absorve energia da chama, pelo fato de magnésio ser um metal, ser fonte de luz, de calor, ele emite luz ao entrar em contato com a chama (não necessário ser uma chama muito quente) (A14 – Questionário 3).

Na resposta de A14, não há, de fato, uma explicação para o fenômeno, mas uma descrição do que ele observou no fenômeno e ao fazer a descrição, assume que o magnésio emite luz pelo fato de ser um metal, que é uma fonte de luz. Podemos ter alguns indícios de obstáculo substancialista, quando A14 atribui essa característica ao metal sem explicá-la. Possivelmente esse obstáculo está relacionado ao realismo do olhar, pois A14 não fornece, em sua explicação, ideias no nível molecular, mas apenas aquilo que pode ver macroscopicamente. No caso, o obstáculo substancialista, pelo fato de o estudante atribuir a propriedade como inerente à substância, no caso, o metal.

IX. Reação de combustão

Dois estudantes (6%) explicaram que o fenômeno se tratava de uma reação de combustão ou queima. Essa ideia não está errada, mas não apresenta toda a explicação para o fenômeno. Podemos observar a explicação de A20:

O palito de fósforo em chama forneceu calor para que a lamparina se acende-se de modo que o querosene se comporte como **combustível** e o oxigênio como **comburente**. Rapidamente o **Mg foi queimado**, liberando uma coloração amarelada. A chama da lamparina é amarelada a incolor. Após sua queima o magnésio passou de prateado para branco (A20 – Questionário 3)

A concepção acerca do fenômeno apresentada por A20 é de uma reação de combustão, quando afirma que a lamparina é acesa e ocorre uma combustão, embora não utilize essa nomenclatura propriamente dita, mas, sim, sobre o que seria o combustível e o comburente dessa reação. Sobre o magnésio, A20 afirma que ocorreu a queima e houve mudança de cor. Podemos notar que essa explicação ocorre apenas no nível macroscópico, ou seja, a partir de um fenômeno passível de observação, caracterizando o realismo do olhar.

Ao discutir sobre esse assunto durante a aula, podemos observar algumas dúvidas com relação ao fato de o fenômeno ser uma reação de combustão, como observado no trecho da aula abaixo:

Quadro 6 - Episódio de ensino da aula que discute sobre a reação química

P: Vocês concordam? É só esse produto? Deixa eu colocar aqui então, já que vocês estão. Eu vou escrever a reação aqui, a reação é essa ó? Como que era a reação? Magnésio mais...

A21: O₂.

P: O₂, formando MgO, sólido?

A45: Só que ali é meio oxigênio.

P: Então a primeira coisa, é essa a reação que aconteceu ali? Se você tivesse que escrever essa reação você escreveria ela dessa forma? Não. Como que você escreveria?

A2: Toda combust.. **Toda combustão tem liberação de CO₂ também.**

P: Tem liberação de CO₂ porque você está reagindo uma **matéria orgânica**, que tem **carbono**. Então o produto seria o CO₂. Mas a pergunta é: **eu teria esse CO₂ nessa reação?**

A2: Não.

P: Mas alguém viu uma fumaça. Essa fumaça seria de onde?

A2: Impureza.

P: Impureza?

A12: Poderia ser daquele líquido escuro a fumaça?

P: Poderia ser do líquido escuro. Poderia ser impureza. Como que eu vou prova isso depois? Uma coisa é você está falando, outra coisa é uma prova.

A12: Poderia ver na lamparina se ela já está saindo fumaça, daí não seria do metal.

Nesse caso, quando se discute sobre a reação de combustão, surge uma dúvida que A2 expressa acerca do fato de as combustões liberarem gás carbônico, que possivelmente seja proveniente de sua formação anterior, quando se enfatiza que toda combustão libera gás carbônico e água. No entanto, para que essa noção seja verdadeira, o material queimado deve possuir em sua estrutura átomos de carbono.

Nesse caso, não há como pensar em geração de gás carbônico nos produtos, uma vez que, não há reagente que tenha carbono em sua constituição. Assim, essa questão apresentada por A2 é um erro que pode ter sido gerado pelo obstáculo epistemológico conhecimento geral.

De uma forma geral, a análise epistemológica acerca das categorias identificadas revela várias explicações sobre a queima do magnésio e, com isso, percebemos o que Bachelard discute sobre a falha dos nossos sentidos, a partir da experiência primeira e da percepção que temos do mundo. Considerando que cada um possui uma vivência e contextos diferentes, as respostas são fruto dessas experiências e das teorias que os estudantes possuem em suas concepções.

Foi possível perceber que há níveis de profundidade e complexidade nas respostas dos estudantes, como o realismo ingênuo, empirismo e racionalismo. Desse modo, podemos pensar na noção de perfil epistemológico de Bachelard (1984), no qual discute cinco filosofias: realismo ingênuo; empirismo claro e positivista; racionalismo newtoniano ou kantiano; racionalismo completo; racionalismo dialético.

Assim, buscaremos discutir as categorias das respostas para a queima do magnésio na perspectiva das zonas do perfil epistemológico. É importante destacar que nosso objetivo não é a elaboração do perfil epistemológico, mas utilizaremos essa noção bachelardiana para indicar diferentes matizes do pensamento quando se reflete sobre o fenômeno que envolve a queima do magnésio. Souza Filho, Boss e Caluzi (2010) destacam que qualquer perfil epistemológico apresenta as zonas de senso comum, empirismo e racionalismo. Adotando essa ideia, discutiremos a noção de perfil epistemológico em três grandes zonas: realismo ingênuo, empirismo e racionalismo.

Nesse sentido, poderíamos admitir que a explicação acerca da transformação física (fusão e mudança de estado) e acerca da característica do metal (emitir luz em contato com a chama) apresentam obstáculos epistemológicos, como já discutido, de natureza realista, experiência primeira e substancialismo, e estão entre a primeira e segunda zona do perfil epistemológico, isto é, entre o realismo ingênuo e o empirismo, uma vez que a explicação dada ao fenômeno foi fruto apenas daquilo que se podia observar macroscopicamente.

Podemos destacar, como uma resposta mais complexa, os estudantes que compreendem que o fenômeno envolve uma reação química. No entanto, foi possível identificar três categorias acerca dessa concepção. Primeiramente, aqueles que só mencionaram a existência de uma reação química, ainda de modo bastante confuso e com obstáculos nessas visões, como, por exemplo, o substancialismo.

Em segundo lugar, poderíamos mencionar os estudantes que compreenderam que se trata de uma combustão, uma conclusão ainda baseada no empirismo, uma vez que o estudante observa que o material é queimado.

E, por último, há estudantes que compreendem que o magnésio reage com o oxigênio formando um óxido; no entanto, não mencionam que se trata de uma reação de oxidação e, em alguns casos, foi possível perceber que a reação não foi escrita como uma oxirredução, pois o magnésio já apresentava a carga 2+ nos reagentes.

Assim, a categoria II é a que mais se aproxima da explicação correta do fenômeno, entretanto ainda se podem perceber algumas dificuldades dos estudantes em compreender completamente o fenômeno. Uma das dificuldades é acerca da nomenclatura e classificação da reação, uma vez que nenhum estudante apresentou uma resposta completa. Além disso, mesmo mencionando a reação, não houve resposta que explicasse a liberação de luz, que só pôde ser compreendida ao final das discussões realizadas em sala de aula.

Desse modo, esses três níveis de respostas que mencionam a reação química poderiam ser enquadrados entre as zonas empirista e racionalista, sendo possível observar o aumento da complexidade e compreensão acerca do fenômeno.

A explicação do salto dos elétrons na camada, embora não se aplique ao fenômeno da queima do magnésio, denota que o estudante é capaz de pensar em uma explicação do nível atômico e possui uma visão elaborada acerca do átomo, mesmo que não seja adequada do ponto de vista da teoria quântica. Assim, é notório, nessa resposta, indícios do pensamento racional.

As explicações acerca do efeito fotoelétrico e do efeito da emissão do corpo negro, como discutido, apresenta o obstáculo verbal, e em grande parte das respostas, não constituem uma explicação propriamente dita e, por isso, não as enquadraremos em nenhuma zona do perfil.

Para ilustrar nossa discussão, na Figura 16 apresentamos as ideias discutidas sobre a noção de perfil conceitual.

Figura 16 - Classificação das respostas dos estudantes ao fenômeno da queima do magnésio nas zonas do perfil epistemológico.

Realismo ingênuo	Empirismo	Racionalismo
<p>Fusão / mudança de estado do magnésio</p> <p>Característica do metal de emitir brilho</p>	<p>Salto dos elétrons</p> <p>Reação química</p> <p>Reação de combustão</p> <p>Reação do magnésio com o oxigênio</p>	

As classificações discutidas e apresentadas na Figura 16 ilustram os diferentes níveis de complexidade que estão presentes nas respostas dos estudantes, indicando a existência de obstáculos epistemológicos em suas concepções, que podem ter sido influenciadas pela concepção de átomo, uma vez que as dificuldades apresentadas foram majoritárias na compreensão do fenômeno no nível atômico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta sessão, faremos algumas reflexões sobre o objeto desta pesquisa: os obstáculos epistemológicos no conceito de átomo e as influências que tais obstáculos exercem no processo de ensino e aprendizagem de outros conceitos químicos, tais como os de ligação química e reação química.

Para responder nossa questão de pesquisa – “Estudantes de química do ensino superior podem apresentar obstáculos epistemológicos acerca da compreensão do modelo atômico? De que maneira esses obstáculos interferem na aprendizagem de conceitos de ligação química e na interpretação de fenômenos relacionados a esses conhecimentos?” –, primeiramente foi preciso compreender como os estudantes concebiam o átomo e então identificar alguns obstáculos epistemológicos acerca desse conceito.

No que diz respeito às concepções de átomo, foram identificadas visões dos diversos modelos atômicos que comumente são tratados na educação básica e no ensino superior, sendo que a maior parte dos acadêmicos concebe o átomo como proposto no modelo de Bohr, uma vez que a ideia das camadas foi bastante recorrente nas respostas dos estudantes, sujeitos desta investigação. Além desse modelo, o modelo quântico e o de Rutherford também tiveram presença significativa nas respostas. No entanto, ainda há uma parte dos estudantes que apresentou a visão do modelo atômico de Dalton, sendo que a característica marcante na definição desses estudantes está na esfera maciça, indivisível e na menor partícula.

Com base nos resultados, foi possível identificar importantes indícios do obstáculo realista, no qual os estudantes, mesmo conhecendo outros modelos mais atuais, assumiam o átomo como espacial, como concreto. Isso fica evidente, quando, em alguns momentos, os estudantes mencionaram a estrutura do átomo (núcleo/eletrosfera) e também mencionaram as partículas subatômicas (prótons, nêutrons e elétrons) e, ainda assim, afirmaram que é indivisível. Essa concepção errônea é causada pelo obstáculo realista, quando se concebe o átomo como algo físico e não abstrato.

Resultados dessa natureza vêm sendo encontrados e questionados em muitas pesquisas relacionadas à compreensão de conhecimentos que lidam com a concepção de modelos atômicos. As representações analógicas dos modelos, que

dão ideias de grão de areia, bola de bilhar, pudim de passas, modelo planetário, dentre outros, quando não questionados na perspectiva epistemológica que trata da natureza e origem do conhecimento, muitas vezes, reforçam os obstáculos realistas.

Quando o estudante concebe o átomo como pequeno, no sentido concreto, entende o átomo como se fosse, por exemplo, um grão de areia. Essa ideia também é discutida por Bachelard ao destacar o realismo do olhar. Principalmente no que se refere ao átomo, Bachelard discute sobre a dificuldade em se referir precisamente à localização do elétron e o problema da localização do real no nível atômico. A diferença do mundo macroscópico para o microscópico é tão grande que as leis clássicas aplicáveis ao mundo macroscópico se tornaram falhas para explicar o átomo na concepção moderna. Desse modo, entender o átomo numa perspectiva realista se torna um obstáculo à aprendizagem da ciência química, uma vez que pensar desse modo enquadra-se em um espírito pré-científico (BACHELARD, 1996).

Para entender o átomo na concepção da ciência contemporânea, exige-se uma abstração que Bachelard, em sua obra *As Intuições Atômicas*, nomeia de atomismo, numa visão criticista, ou seja, uma visão que ultrapassa a sedução realista e a explicação rasa do fenômeno.

Assim, Bachelard (1933 apud FERREIRA, 2013) afirma que, para entender o átomo, é necessário utilizar o intelecto e a percepção, ou seja, é algo feito individualmente na imaginação de cada pessoa. Em se tratando de situações de ensino, é fundamental a discussão de aspectos filosóficos da construção da teoria atômica. Se pensarmos nessa discussão no âmbito da sala de aula, estaremos fornecendo subsídios para que os estudantes reflitam e questionem suas concepções, gerando possibilidades para superar os obstáculos epistemológicos.

Na visão moderna, entender o átomo requer um novo espírito científico, e para isso, o realismo deve ser superado. Pietrocola (2014, p. 96) argumenta que ensinar ciência contemporânea exige “[...] formar jovens para ultrapassar os limites no mundo cotidiano”, ou seja, essa forma de pensar vai em direção ao não cotidiano. O autor defende que “[...] em termos da formação de professores, a mensagem da filosofia de Bachelard é simples e direta: devemos entender que o pensamento espontâneo tem suas exigências e se apega aos modos de pensamento estabelecido” (PIETROCOLA, 2014, p. 96). Portanto, questionar e debater as ideias dos estudantes não necessariamente faz com que esses estudantes substituam suas formas de pensar

pelo pensamento científico, mas que tenham uma visão mais abrangente de mundo e saibam que há outras formas de pensar, sendo a ciência uma dessas formas.

A formação do espírito científico passa pela retificação de erros oriundos dos obstáculos epistemológicos, que estão presentes também em teorias científicas bem estabelecidas. Bachelard afirma que o maior inimigo da ciência é a própria ciência, quando ela atua como um obstáculo para o novo que está nascendo.

No que tange ao atomismo, entendemos que discussões de caráter histórico e filosófico podem tornar a visão dos estudantes mais crítica, buscando, sempre que necessário, a superação dos obstáculos e a formação do espírito científico. Entre outros, alguns exemplos de questionamentos são: o que é um modelo? O que é uma representação? O átomo é real? O que é considerado real? Por que existem vários modelos atômicos? Existe um único modelo atômico que é correto?

Entender o átomo na perspectiva da ciência contemporânea não é algo fácil e, muito menos, rápido. Além disso, o conteúdo químico se utiliza de vários modelos para explicar os fenômenos, e os estudantes também o fazem. Assim, podemos perceber que parte significativa dos estudantes entende o átomo com as camadas fixas ao redor do núcleo e, ao observar o fenômeno da queima do magnésio, explicam que a luz ocorre devido ao salto dos elétrons.

Outras explicações, como a fusão do metal ou o efeito fotoelétrico, também são frutos de uma observação, como destaca Bachelard, feita de modo apressado e sem refletir sobre o que se observa. Nesse caso, podemos considerar que a observação, de fato, não é neutra, pois ao explicar o fenômeno, os estudantes o fizeram com base na teoria que conhecem, observando a queima do magnésio com as lentes de uma teoria e não pura e simplesmente o fenômeno.

Com relação ao obstáculo de natureza verbal, é essencial compreender que a ciência possui uma linguagem e um formalismo que lhe são característicos e que podem dificultar o processo de ensino e aprendizagem. Os estudantes desta investigação se utilizaram de nomenclaturas científicas, tais como o efeito fotoelétrico e a emissão do corpo negro, que foram estudados quando a teoria quântica estava sendo formulada, como explicação para o fenômeno da queima do magnésio. Dessa forma, a palavra ou imagem que parece ser autoexplicativa reforça um obstáculo que impede o estudante de interpretar significativamente o fenômeno.

Um dos grandes desafios da educação química é a formação de um pensamento científico, que permita a compreensão e reflexão acerca do conhecimento e não apenas palavras ou imagens memorizadas.

Assim como a linguagem pode se constituir em um obstáculo, uma atividade experimental também se constitui em um campo importante de reflexão. Nessa perspectiva, retomamos o obstáculo experiência primeira para a explicação do fenômeno da queima do magnésio. Por exemplo, quando os estudantes mencionam que a mudança de estrutura ocorre, pois o magnésio muda de cor e fica distorcido após entrar em contato com o fogo.

Explicações como a fusão e a mudança de estado da matéria também denotam esse obstáculo que está fundamentado em uma visão realista do fenômeno. As primeiras conclusões são feitas com base apenas naquilo que se pode ver, observar macroscopicamente. No entanto, na interpretação de qualquer fenômeno, além dos aspectos visíveis, é importante refletir sobre as propriedades químicas que lhes são conferidas no nível atômico.

Além disso, um dos obstáculos que discutimos foi o substancialismo. Em primeiro lugar, é importante compreender o quanto a química esteve relacionada com a substância, para compreendermos o porquê de esse obstáculo ser tão difícil de ser superado. Bachelard (2009) discute que a ciência contemporânea é racionalista e que a química, assim como a física, utiliza-se da matemática na atualidade.

No que se refere ao conceito de átomo e aos outros conceitos químicos que analisamos, tais como os conceitos de ligação química e reação química, a ideia da substância ainda é bastante presente. Por exemplo, a confusão, ou mesmo considerar como sinônimos os conceitos de órbita e orbital. A órbita é definida, é substancialista; já o orbital é probabilístico, dessubstancializado.

Bachelard nos atenta ao coisismo e ao choquismo, que trazem características do realismo, mas que têm sua mais profunda raiz no substancialismo. Portanto, no ensino de química, torna-se extremamente importante discutir sobre as características da matéria. É importante mostrar como ela se desenvolveu no conhecimento científico e, acima de tudo, mostrar a natureza mutável, que rompe com o conhecimento anterior e que pensa conforme um novo espírito científico.

Ainda enfatizamos que nunca uma pesquisa pode ser dada como “concluída”. Mas nosso ponto final até aqui indica que o ensino de química, principalmente no que se refere ao atomismo, deve proporcionar aos estudantes momentos de

questionamentos e reflexão, de modo a promover uma ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, uma vez que as discussões dos obstáculos presentes nesta pesquisa se dão, principalmente, pela complexidade do conhecimento científico que se está estudando.

Apoiando-nos na discussão de Bachelard (1996, p. 300): “para que a ciência objetiva seja plenamente educadora, é preciso que seu ensino seja socialmente ativo”, uma alternativa para questionar as concepções dos estudantes seria a formação de pequenos grupos de discussão sobre os conhecimentos científicos, dando-lhes tempo para pensar e responder acerca de suas ideias, possibilitando a socialização proposta por Bachelard, assim como o desenvolvimento de outras características no estudante, além da científica, como a capacidade de trabalhar em equipe, ouvir, confrontar ideias, argumentar, errar e aprender com seus erros.

Nesse sentido, apontamos a atividade da queima do magnésio como uma das estratégias de ensino que podem ser utilizadas em sala de aula, uma vez que ao problematizar os conceitos, pode propiciar a superação dos obstáculos epistemológicos. Ao dar tempo para o estudante refletir sobre o fenômeno e questioná-lo, percebemos a preocupação do professor da disciplina em lidar com as dificuldades apresentadas pelos estudantes. Desse modo, estaremos fornecendo subsídios para o desenvolvimento de um pensamento químico, no nível atômico, que ultrapassa o realismo do olhar.

Como o próprio Bachelard defende, o conhecimento não questionado gera tais obstáculos epistemológicos. Portanto, finalizo este trabalho convidando-os à reflexão. O ensino de química deve, antes de qualquer obstáculo, promover o diálogo, a ação-reflexão, a formação do espírito científico.

Não é no silêncio que os homens se fazem, mas na palavra, no trabalho, na ação-reflexão. Se não amo o mundo, se não amo a vida, se não amo os homens, não me é possível o diálogo. O diálogo, como encontro dos homens para a tarefa comum de saber agir, se rompe, se seus polos (ou um deles) perdem a humildade. Como posso dialogar, se alieno a ignorância, isto é, se a vejo sempre no outro, nunca em mim? Como posso dialogar, se me admito como um homem diferente, virtuoso por herança, diante dos outros, meros ‘isto’, em que não reconheço outros eu? Como posso dialogar, se me sinto participante de um ‘gueto’ de homens puros, donos da verdade e do saber, para quem todos os que estão fora são ‘essa gente’, ou são ‘nativos inferiores’? Como posso dialogar, se parto de que a pronúncia do mundo é tarefa de homens seletos e que a presença das massas na história é sinal de sua deterioração que devo evitar? Como posso

dialogar, se me fecho à contribuição dos outros, que jamais reconheço, e até me sinto ofendido com ela? Como posso dialogar se temo a superação e se, só em pensar nela, sofro e definho? A autossuficiência é incompatível com o diálogo. Os homens que não tem humildade ou a perdem, não podem aproximar-se do povo. Não podem ser seus companheiros de pronúncia do mundo. Se alguém não é capaz de sentir-se e saber-se tão homem quanto os outros, é que lhe falta ainda muito que caminhar, para chegar ao lugar de encontro com eles. Neste lugar de encontro, não há ignorantes absolutos, nem sábios absolutos, há homens que, em comunhão, buscam saber mais (FREIRE, 2005, p. 93).

REFERÊNCIAS

ANDRÉ, M. E. D. A. **Estudo de Caso em Pesquisa e avaliação educacional**. Brasília: Liber Livro, 2005.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

_____. **Estudos**. Apresentação Georges Canguilhem; Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

_____. **O pluralismo coerente da química moderna**. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.

_____. **A experiência do espaço na física contemporânea**. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.

_____. **O novo espírito científico** (Os pensadores). Trad. Remberto Francisco Kuhnen, Antonio da Costa Leal, Lídia do Valle Santos Leal. São Paulo: Nova cultura, 1988.

_____. **A filosofia do não** (Os pensadores). Trad. Joaquim José Moura Ramos. 2 ed. São Paulo: Abril Cultura, 1984.

BARRELO JUNIOR, N. **Argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática de física moderna**. 2010. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Ed. 70, 1979.

BERNARDINO, M. A. D. **As analogias do livro didático público de química do estado do Paraná no processo ensino-aprendizagem**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciência e Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

BERTOCHÉ, G. **A objetividade da ciência na filosofia de Bachelard**. 2006. Disponível em: <<http://www.ebooksbrasil.org/adobeebook/objbachelard.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

_____. Modelos e rupturas epistemológicas: análise crítica da posição de Bachelard. **Prometeus**, n. 12, p. 27-45, 2013.

_____. A percepção da teoria quântica por um filósofo na década de 20. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUANDOS EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS – ANAPEHC, 3., 2014, Mariana. **Anais...** Mariana: UFOP / UFMG, 2014. p. 270-277.

BOHR, N. **Física atômica e o conhecimento humano**: ensaios 1932-1957. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

BROCKINGTON, G. **A realidade escondida**: a dualidade partícula-onda para estudantes do ensino médio. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BROWN, T. L.; LEMAY JUNIOR, H. E.; BURSTEN B. E.; BURDGE, J. R. **Química**: a ciência central. Trad. Robson Matos. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CESAR, C. M. **Bachelard**: ciência e poesia. São Paulo: Paulinas, 1989.

CARUSO, F.; OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. **Química Nova**, v. 3, n. 20, p. 324-334, 1997.

CHAGAS, J. A. S. **Obstáculos encontrados no processo de compreensão do conceito de reação química**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

CHIZZOTTI, A. A pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais: evolução e desafios. **Revista portuguesa de Educação**, v. 16, n. 2, p. 221-236, 2003.

COKELEZ, A.; DUMON, A. Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long-term memory. **Chemistry Education Research and Practice**, V.6, N. 3, p. 119-135, 2005.

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA. Disponível em:
<<http://www.dqi.uem.br/historico.html>>. Acesso em: 30 set. 2014.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Educar**, n. 16, p. 181-191, 2000.

FERREIRA, L. M. **Atomismo**: um resgate histórico para o ensino de química. 2013. 170 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. Estrutura Atômica e Formação dos íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 275 – 282, 2009.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

_____. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

GARCÍA-CARMONA, A. La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. **Educación Química**, v. 4, n. 17, p. 414-423, 2006.

GUEVARA, M; VALDEZ, R. Los modelos en la enseñanza de la química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y aprendizaje. **Educación Química**, México, v. 15, n. 3, p. 243-247, 2004.

HADŽIBEGOVIĆ, Z.; GALIJAŠEVIĆ, S. 100 Years Anniversary of the Bohr Model of the Atom: How Chemistry Freshmen Understand Atomic Structure of Matter. **Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina**, v. 40, p. 51 – 56, 2013.

JAPIASSÚ, H. **Para ler Bachelard**. Rio de Janeiro: F. Alves, 1976.

LECOURT, D. **Epistemologia Gaston Bachelard**. Trechos selecionados por Dominique Leucourt; Trad. Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

LINO, A. **Inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectiva da aprendizagem significativa**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

LOPES, A. R. C. **Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química**. 1990. 289 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1990.

_____. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química. Obstáculos Realistas e Animistas. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 254-261, 1992.

_____. Livros didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira Estudos Pedagógicos**, v. 74, n. 177, p. 309-334, 1993a.

_____. Contribuições de Gaston Bachelard ao Ensino de Ciências. **Enseñanza de las ciencias**, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993b.

_____. Bachelard: O filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

_____. **Currículo e Epistemologia**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2007.

LOPES, C. V. M.; MARTINS, R. A. J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o 'pudim de passas' nos livros texto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2009.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MALUF, V. J. **A contribuição da epistemologia de Gaston Bachelard para o Ensino de Ciências: uma razão aberta para a formação do novo espírito científico – O exemplo na Astronomia**. 2006. 167 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.

MARQUES, D. M.; CALUZI, J.J. Contribuições da história da ciência no ensino de ciências: alternativa de inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio. **Enseñanza de las ciências**, n. extra, p. 1 – 4, 2005.

MARTINS, A. F. P. **Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo**: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. 2004. 218 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELO, A. C. S. **Contribuições da epistemologia histórica de Bachelard no estudo da evolução dos conceitos da óptica**. 2005. 198 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. **Química Nova na Escola**, V. 35, N. 02, 2013.

MINAYO, M. C. S. O desafio da pesquisa social. In: DESLANDES, S. F.; GOMES, R. MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social**: Teoria, método e criatividade. 32. ed. Petrópolis: Vozes, 2012, p. 9 – 29.

OKI, M. C. M. Controvérsias sobre o atomismo do século XIX. **Química Nova**, V. 32, N. 04, p. 1072 – 1082, 2009.

OLIVEIRA, R. J. **Ensino**: o elo mais fraco da cadeia científica. 1990. 256 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1990.

_____. O mito da substância. **Química Nova na Escola**, n. 1, p. 8 -11, 1995.

PAIVA, R. C. S. **Gaston Bachelard**: a imaginação na ciência, na poética e na sociologia. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2005.

PARENTE, L. T. S. **A ciência química**: ensino e pesquisa na universidade brasileira. 1985. Xxxf. Dissertação (Mestrado) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1985.

_____. **Bachelard e a química**: no ensino e na pesquisa. Fortaleza: Ed. da Universidade Federal do Ceará; Stylus Publicações, 1990.

PESSANHA, M. C. R. **Estrutura da matéria na educação secundária**: obstáculos a aprendizagem e simulações computacionais. 2014. 231 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PIETROCOLA, M. Bachelard e a Filosofia do não. In: MAGALHÃES JUNIOR, Carlos Alberto de Oliveira; LORENCINI JÚNIOR, Álvaro; CORAZZA, Maria Júlia (Org.). **Ensino de ciências**: múltiplas perspectivas, diferentes olhares. Curitiba: CRV, 2014, p. 79 – 98.

PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C.; MOREIRA, M. A. **Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2011.
PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Cadernos Catarinenses do Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7 – 34, 1999.

SILVA, J. F. **Apropriação da linguagem científica por parte dos alunos em uma sequência de Ensino de Física Moderna**. 2009. 343 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, J. L. P. B.; CUNHA, M. B. M. Para compreender o modelo atômico quântico. ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 14., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2008.

SILVA, E. L.; SOUZA, F. L.; MARCONDES, M. E. R. “Transformações químicas” e “transformações naturais”: um estudo das concepções de um grupo de estudantes do ensino médio. **Educación Química**, p. 114 – 120, 2008.

SILVEIRA, M. P. **Uma análise epistemológica do conceito de substância em livros didáticos de 5ª e 8ª séries do ensino fundamental**. 2003. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOUSA, W. B. **Física das radiações: uma proposta para o ensino médio**. 2009. 248 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SOUZA, P. H. **Tempo, Ciência, História e Educação: um diálogo entre a cultura e o perfil epistemológico**. 2008. 237 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Formação de novas zonas do perfil epistemológico bachelandiano: alguns resultados de uma pesquisa baseada nas etapas da conscientização e familiarização. In: BASTOS, F. (Org.). **Ensino de ciências e matemática III: contribuições da pesquisa acadêmica a partir de múltiplas perspectivas** [online]. São Paulo: Ed. UNESP; Cultura Acadêmica, 2010, p. 169 – 191.

SUART JÚNIOR, J. B. **A dialética do conhecimento científico, a prática e a experimentação: uma análise do ideário de licenciandos e sua relação com a epistemologia da ciência moderna**. 2010. 230 f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

ZANETIC, J.; MOZENA, E. R. FMT405 - Evolução dos conceitos de física. Notas de aula – 2ª parte: alguns tópicos de história da física. Instituto de Física – Universidade de São Paulo, 2009.

APÊNDICES

Apêndice A: Questionário para caracterização dos sujeitos

QUESTIONÁRIO 1

Pesquisadora: Jheniffer Micheline Cortez dos Reis

1- Sobre sua formação básica, seu Ensino Médio foi cursado:

- Integralmente na escola pública.
- Integralmente na escola particular.
- Parcialmente na escola pública e parcialmente na escola particular.
- Outro; especifique: _____

2- Você realizou algum tipo de cursinho pré-vestibular:

- Sim, na instituição: _____
- Não.

3- Quantas vezes você prestou o vestibular nesta instituição:

- 1
- 2
- 3
- Outro; especifique: _____

4- Sobre a distribuição do seu tempo durante o dia (manhã e tarde):

- Trabalha o dia todo.
- Trabalha parte do dia e estuda parte do dia.
- Estuda o dia todo.
- Outro; especifique: _____

5- Sobre a disciplina de Química Geral, quantas vezes você a cursou:

- 1ª vez
- 2ª vez
- 3ª vez
- Outro; especifique: _____

6- Porque você ingressou em um curso de licenciatura em química?

Apêndice B: Questionário inicial sobre as concepções de átomo

QUESTIONÁRIO 2

1- Com base no termo **ÁTOMO**, escreva as cinco primeiras palavras que, em sua opinião se refere ao termo. Em seguida, atribua número de 01 a 05, de acordo com o grau de importância, sendo (01) para o mais importante e (05) para a menos importante.

_____ ()

_____ ()

_____ ()

_____ ()

_____ ()

2- Represente o átomo como você imagina, por meio de desenho. Em seguida, faça suas explicações acerca de sua representação. Deixe claro em suas palavras qual é o seu **conceito de átomo**. Se necessário utilize o verso.

Apêndice C: Questionário da atividade sobre a queima de magnésio

QUESTIONÁRIO 3

Depois de assistir o vídeo da queima de magnésio, responda:

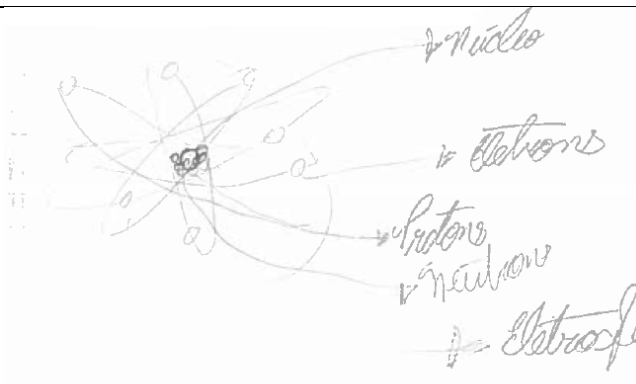
- Considere os parâmetros atômicos do magnésio e discuta o fenômeno observado com um olhar microscópico. Se necessário utilize o verso.

Apêndice D: Respostas dos estudantes aos questionários

As respostas estão organizadas em quadros que aparecem, por acadêmicos, as respostas às questões 1 e 2 do questionário 2 e a resposta da questão 1 do questionário 3. As respostas da avaliação formal não foram divulgadas por questões éticas da pesquisa.

A1

<u>Núcleo</u>	(4)
<u>Protons</u>	(5)
<u>Neutrons</u>	(5)
<u>elétrons</u>	(4)
<u>Esfera</u>	(2)




O átomo é um objeto minúsculo; sua observação apenas se permite através de instrumentos apropriados. sendo uma unidade básica da matéria, consiste de núcleo, prótons, neutrons, elétrons que estão na esfera.

Ex: na queima do magnésio, fornecemos energia a este fazendo com que seus elétrons que se encontravam em um estado de energia, passe para outro assim seus elétrons na ida e na volta liberam luz.

A2

<u>ENERGIA</u>	(4)
<u>COMPOSIÇÃO / ESTRUTURA</u>	(5)
<u>REAÇÃO QUÍMICA</u>	(3)
<u>PROPRIEDADES</u>	(2)
<u>OBSERVAÇÃO FÍSICA</u>	(1)




O átomo é composto por um núcleo, e órbitais.
 Núcleo - pr^+ + nêutrons
 Órbitais - el^-
 O deslize e apresenta a forma pela qual os elétrons reagem ou movimentam-se em torno do núcleo quando em estado de excitação em uma reação química.

Hg^{2+} $1s^2 2s^2 2p^6 + 2$ Hg^0 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

Um cátion, com por exemplo, o Hg^{2+} , tem como se de valência 2d com 2 elétrons. Estes elétrons quando recebem uma quantidade de energia suficiente ficam excitados, pulando de uma camada e entre até chegar seu estado fundamental, e liberando toda energia absorvida através de luz (fóton).

A3

- Partícula ()
- Esfera ()
- Núcleo ()
- Blocos de construção da natureza (2)
- Luz interagindo com a matéria (1)



O átomo: um bloco de construção da natureza
 matéria é composta por átomos
 Possui núcleo, prótons, elétrons. É a menor partícula, uma esfera, indivisível.
 * elétrons (negativo)
 * prótons (positivo)

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ está no terceiro orbital (família dos metais alcalinos terrosos)

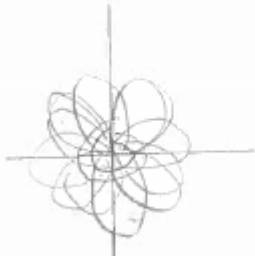
$Z_{\text{ef}} = 12 - 10 = +2$

carga nuclear efetiva \rightarrow está sendo atraído 2 vezes mais pelo núcleo

O fenômeno observado, após o contato com o fogo, ele emite uma luz, a qual pode-se notar o magnésio metálico com uma aparência distorcida, uma vez que este fundiu.

A4

ENERGIA	(2)
MATÉRIA	(1)
REACÃO QUÍMICA	(3)
PROPRIEDADES	(4)
AFINIDADE ELETRÔNICA	(5)




O átomo é a menor partícula que constitui a matéria.

Não respondeu.

A5

núcleo	(1)
eletrografia	(2)
próton	(4)
elétrons	(3)
neutrons	(5)



Átomo é a partícula que forma a matéria.

Ocorre uma reação química entre as matérias utilizadas, a chama e o magnésio metálico, onde a entrada entre os dois gera a emissão de luz. O brilho do corpo negro = efeito fotoelétrico são fenômenos semelhantes no ocorrido.

A6

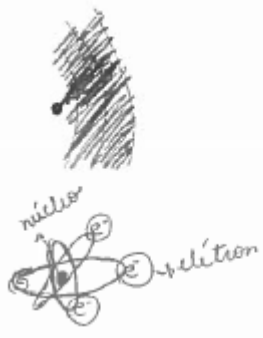
unidade básica da matéria (05)

unimável (04)

energica (02)

indispensável (01)

formador (03)



Um átomo é constituído por núcleo onde há prótons e neutrões e em torno há elétrons em torno do núcleo, nas camadas. Este pode perder elétrons e ganhar -los tornando assim um cátion ou ânion.

Não respondeu.

A7

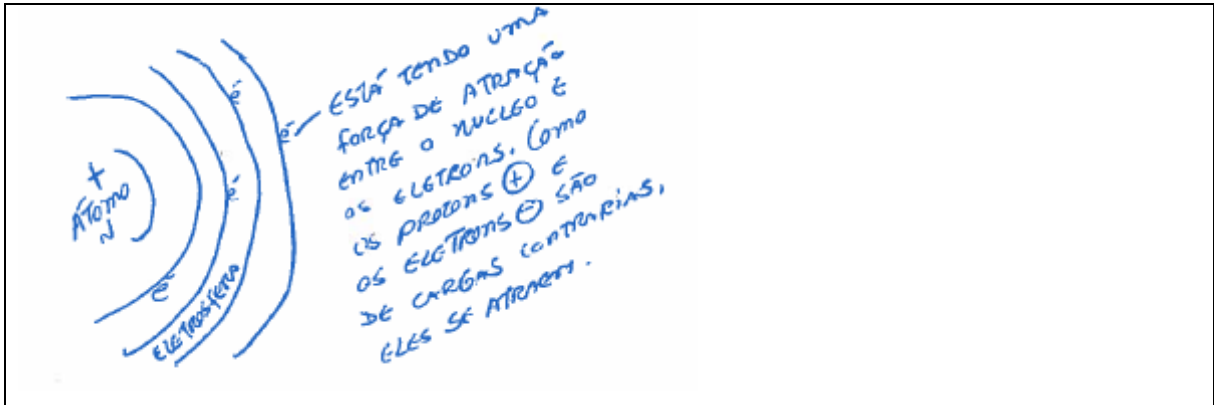
CARGAS NO ÁTOMO (1)

ELETROSFERA (2)

CARGA NUCLEAR EFETIVA (3)

REPULSÃO (4)

FORÇA DE ATRAÇÃO (5)



$$mg = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

O fogo está fornecendo energia a mg , e os elétrons e mg dá um salto pra camada mais externa, e quando volta ao seu estado fundamental, emite luz.

A8

<u>partículas de -partículas</u>	(5)
<u>elétrons</u>	(2)
<u>núcleos</u>	(1)
<u>prótons / elétrons</u>	(3)
<u>neutrons</u>	(4)

0 → elétrons.

é a menor parte da matéria.

→ magnésio perde elétrons, através da troca de energia onde acontece a fusão do metal.

A9

núcleo	(5)
elctron	(2)
proton	(3)
neutron	(4)
divisível	(1)



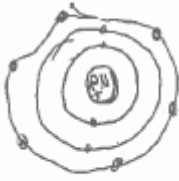
O átomo é constituído de núcleo, onde ficam os prótons e os nêutrons, e eletrosfera, onde ficam os elétrons. Na eletrosfera há as camadas K, L, M, N, O, P, Q nas quais os elétrons são distribuídos e entre cada camada há os subníveis de energia s, p, d, f, que na representação está em círculos, mas na realidade não é assim. O átomo é divisível. Os elétrons giram em ordem elíptica. Tudo e qualquer matéria é feita de átomos.

À absorva energia os elétrons do material se excitam, liberando uma luz como visto no vídeo. Os físicos chamam isso de emissão de corpo negro.

A10

Misterioso	(05)
fascinante	(02)
diversível	(04)
Extremamente importante	(01)
energia	(03)

Átomo: partícula que forma a matéria.

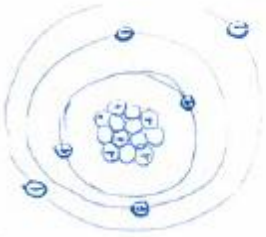


Para mim, o átomo é constituído por um núcleo onde se encontram os prótons (as cargas positivas) e os nêutrons. Do lado de fora, encontram-se os elétrons (partículas de cargas negativas). Pelo fato do núcleo possuir uma carga positiva e os elétrons carga negativa, ocorre a atração, porém, o elétron contém uma carga de energia que lhe permite "fugir" desta atração. Se o núcleo conseguisse atrair o elétron junto a ele, haveria uma anulação das cargas, de resto, não existiria matéria.

O efeito conhecido foi da emissão de corpo negro. Que se trata do efeito de um metal quando aquecido, seus elétrons ficam muito agitados e assim, essa agitação pode ser percebida pela emissão de uma luz muito forte. Depois de aquecido, rapidamente o magnésio começa a esfriar e assim, seus elétrons ficam menos agitados e emitindo praticamente luz nenhuma. E por estar em uma pequena quantidade pode ser "facilmente" deformado.

A11

- | | |
|------------------------|-----|
| <u>elétrons</u> | (1) |
| <u>elétrons</u> | (2) |
| <u>prótons</u> | (3) |
| <u>ligação química</u> | (5) |
| <u>partícula</u> | (4) |

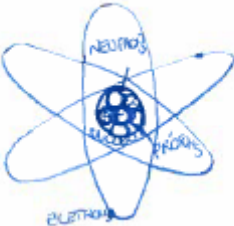


O átomo possui um núcleo composto, por prótons e nêutrons, em sua volta existe a eletrosfera, onde os elétrons ficam em suas respectivas "camadas". Cada átomo possui tamanhos diferentes, influenciado pela quantidade de elétrons e prótons. ~~Os~~ Átomos diferentes ^{ou iguais} podem se unir por ligações químicas formando diversas substâncias.

O metal recebe uma fonte de energia, fogo (calor), ocorre uma reação química, fazendo com que o metal absorva esta energia, emitindo em forma de luz.

A12

núcleo	(1)
prótons	(3)
nêutrons	(2)
elétrons	(4)
indivisível	(5)



Não respondeu.

A13

<u>matéria</u>	(4)
<u>molécula</u>	(3)
<u>partícula</u>	(1)
<u>organização</u>	(2)
<u>transformação</u>	(5)

Não respondeu.

A14

<u>partículas</u>	(1)
<u>elétrons</u>	(2)
<u>neutrons</u>	(3)
<u>divisível</u>	(4)
<u>matéria do natureza.</u>	(5)

O átomo é uma partícula indivisível, na qual a menor parte da matéria. Substância composta por, um núcleo, onde se encontram os prótons (carga positiva) e os neutrons (carga nula) e no parte de fora encontram o eletrão, ou se tem os elétrons (carga negativo).

Quando o magnésio entra em contato com a chama, o mesmo absorve energia da chama, pelo fato de magnésio ser um metal, por isso emite luz, de calor, ele emite luz ao entrar em contato com a chama (não reativo ser como chama muito quente).

A15

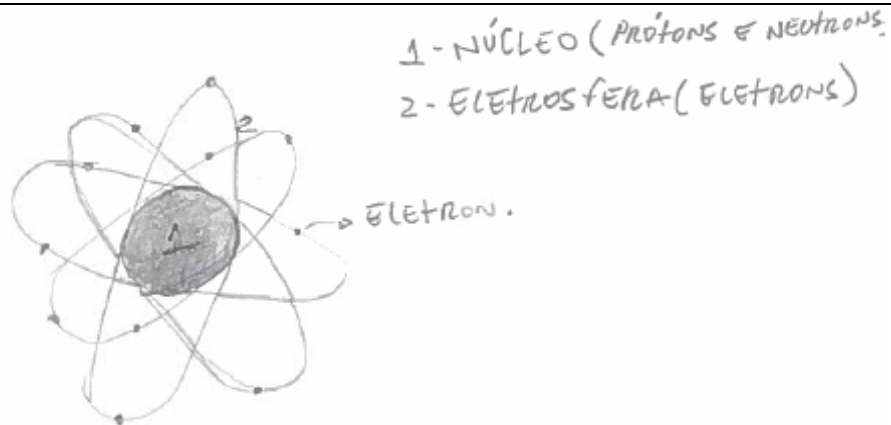
Estrutura mais simples da matéria (2)

Elétrons, prótons, nêutrons e núcleo (2)

Base de estruturas moleculares (2)

Partícula indivisível (1)

Estrutura conceitual (1)



Não respondeu.

A16

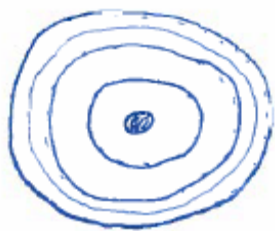
prótons (1)

elétrons (3)

neutrons (2)

matéria (4)

matéria (5)



Ao ser aquecido, os elétrons do magnésio mudam de camada liberando energia luminosa.

A17

próton	(1)
elétron	(2)
camada de valência	(3)
Rutherford	(5)
Thomson	(4)




núcleo, e suas camadas.

Não respondeu.

A18

elétron	(1)
prótons	(2)
neutrons	(3)
número quântico principal	(5)
massa atômica	(4)



átomo é constituído por eletrões (nas camadas) que ficam em torno do núcleo que contém prótons e neutrões, constitui a matéria, é indivisível, pode ser alterado a quantidade de eletrões e sua camada tornando um anion, como fornecimento de energia, cada átomo, de cada elemento ^{alguns} tem características diferentes, como, raio atômico, energia de ionização, quantidade de camadas, quantidade de eletrões, prótons e neutrões,

$Mg^{++} = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$, com o aquecimento "fornecimento de energia os magnésios ficam "excitados" mudando de camada e ao retornar ao estado fundamental libera luz visível.

A19


Estrutura atômica (1)

teoria atômica (2)

Modelo atômico (4)

conceitos de Quantização (3)

_____ ()



O núcleo é composto por cargas positivas, e eletrões ao redor.

Se eu conseguir provar esta estrutura, ~~prova~~ através dos eletrões ~~prova~~ que ela necessariamente existe.

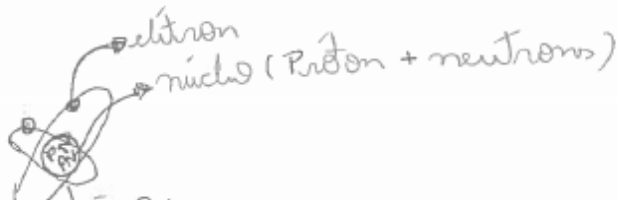
De acordo com os parâmetros atômicos, o fenômeno observado, utilizando o magnésio metálico, foi que:

Resposta: acendeu-se uma lamparina com querosene, e utilizou-se magnésio metálico, e encostou-se na chama da lamparina, em contato com o fogo, depois de um certo tempo ele emitiu uma luz forte, e após o fogo ter apagado e a luz emitida também, o magnésio metálico se fundiu, o que fica opaco devido sua cor cinza clara, e sua aparência distorcida.

Sua distribuição eletrônica é: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$;
 $\text{O ZEF} = 12 - 10 = +2$;

A20

<u>unidade</u>	(1)
<u>carga</u>	(5)
<u>ligação</u>	(3)
<u>instabilidade</u>	(4)
<u>emissão</u>	(2)



Constituição do átomo:

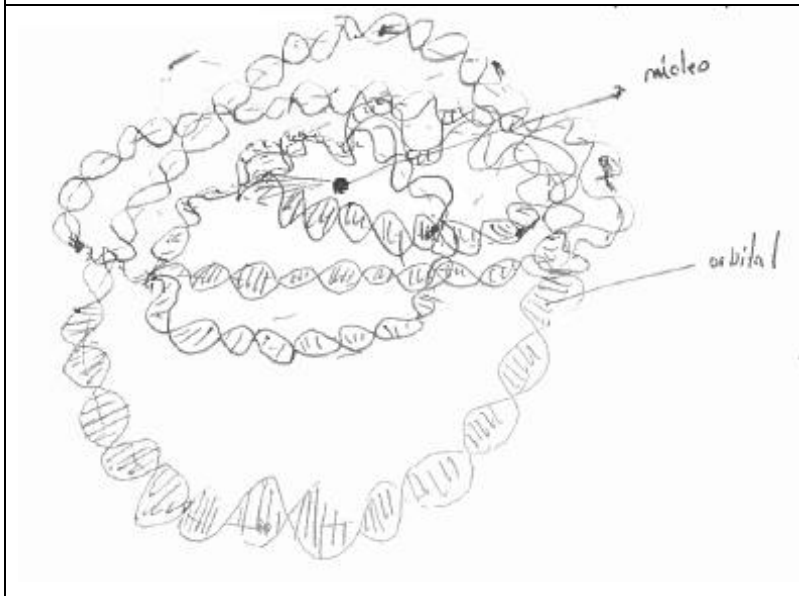
- O núcleo é constituído de prótons, partículas carregadas positivamente e de nêutrons, partículas sem carga.
- A eletrosfera gira em volta do núcleo, e nesta se encontram os elétrons, partículas carregadas negativamente
- os elétrons giram em um orbital fixo, comodo ou nível, podendo mudar de nível, recebendo ou perdendo energia.

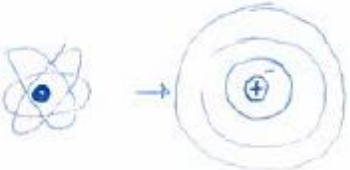
O pó de fósforo em chama fornece calor para que a lâmpada -
 rine se acenda - ou de modo que o querosene se comporte como
 combustível u o gás é combustível

- Rapidamente O gás foi queimado, liberando uma coloração
 amarelada
- A chama da lâmpada é amarelada à incolor
- Após seu queimo o magnésio passou de prateado para
 branco.

A21

<u>elementar</u>	(1)
<u>quântica</u>	(2)
<u>indivisível</u>	(5)
<u>propriedades</u>	(3)
<u>química</u>	(4)






apresenta núcleo positivo (prótons).
 com camadas em volta do núcleo
 são os orbitais (elétrons).
 é maciço, indivisível, indestrutível.

Não respondeu.

A23

prótons	(3)
neutros	(4)
elétrons	(2)
Bohr	(5)
núcleo	(1)

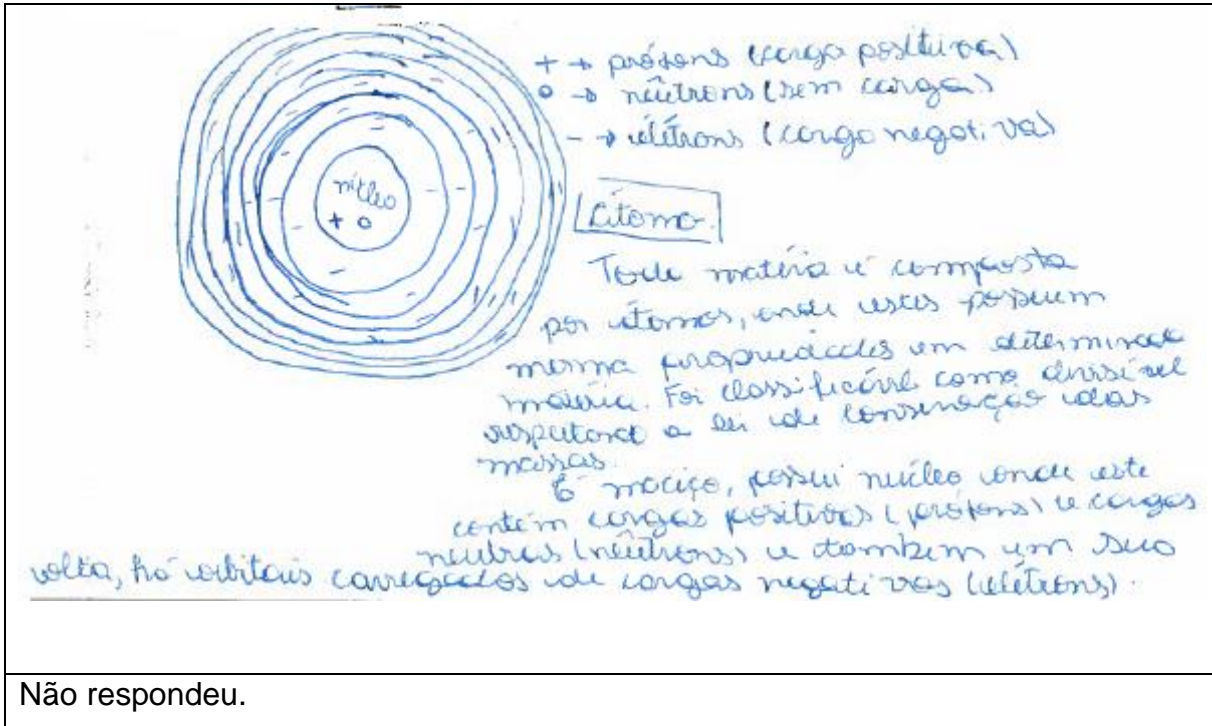


Meu conceito de átomo é de um núcleo
 com prótons e neutrões e elétrons girando
 ao redor em níveis diferentes e rapidamente
 passa que o núcleo não exerce força de
 atração suficiente para que os prótons e os
 elétrons se choquem.

Não respondeu.

A24

elétrons	(2)
dimensão	(1)
orbital	(5)
núcleo	(4)
camada de valência	(3)



++ prótons (carga positiva)
 o → nêutrons (sem carga)
 - → elétrons (carga negativa)

Lição

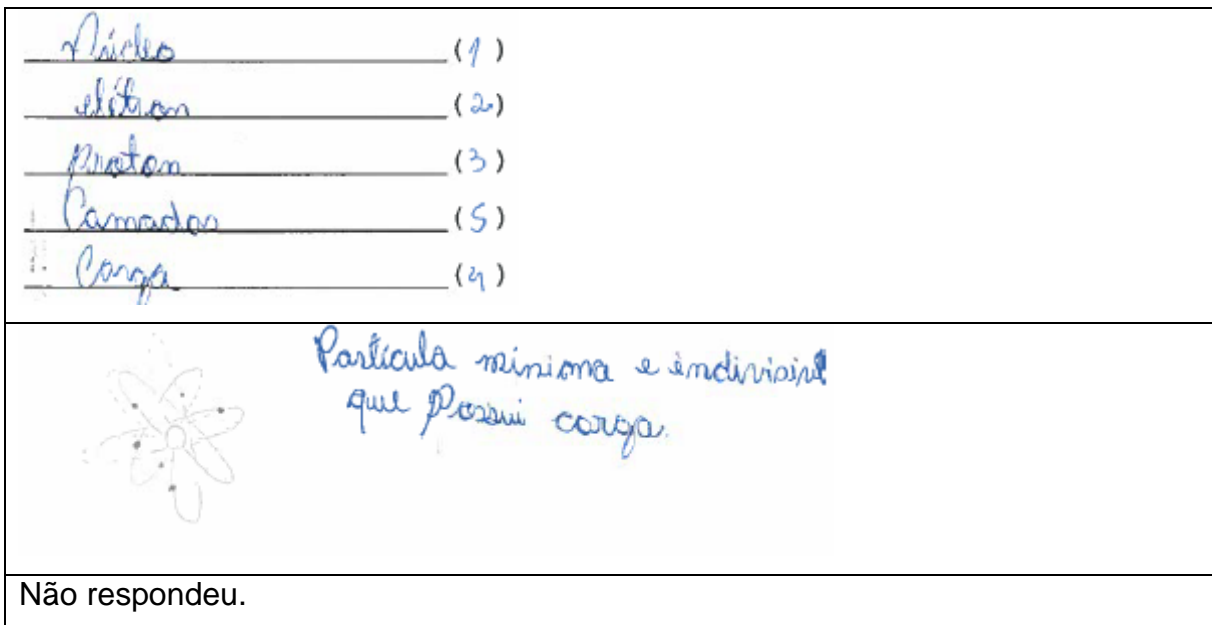
Toda matéria é composta por átomos, onde estes possuem mesma propriedades em determinadas massa. Foi classificada como divisível dependendo a lei de conservação das massas.

É matéria, possui núcleo onde este contém cargas positivas (prótons) e cargas neutras (nêutrons) e também um gás volta, há orbitais carregados de cargas negativas (elétrons).

Não respondeu.

A25

Núcleo	(1)
elétrons	(2)
prótons	(3)
Camadas	(5)
Carga	(4)




Partícula mínima e indivisível que possui carga.

Não respondeu.

A26

Pequeno	(1)
Elétrons	(2)
Carga	(4)
Química	(5)
Núcleo	(3)

O átomo possui um núcleo, que é constituído dos prótons e neutrões. Ao redor há as camadas, onde se encontram os elétrons que podem estar carregados negativamente.

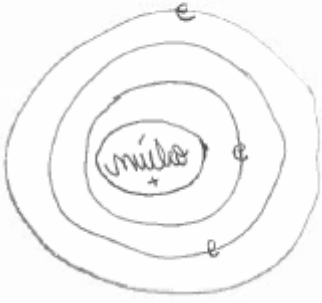


No experimento do vídeo houve a presença de calor no contato do magnésio sólido, um feixe de luz foi emitido por alguns segundos.

O magnésio é considerado um metal que conduz energia, esta energia fica representada em forma de luz na presença do calor. Esta luz estava associada ao "cominho" dos elétrons na nuvem eletrônica, "ida e volta" em uma velocidade impressionante.

A27

elétrons	(04)
condutores	(05)
núcleo	(04)
prótons	(02)
neutrões	(03)




O átomo é composto por um núcleo e uma eletrosfera. No núcleo ficam os prótons e os nêutrons. Na eletrosfera ficam os elétrons.

Não respondeu.

A28

Núcleo	()
Prótons	()
Nêutrons	()
Elétrons	()
Bóla	()

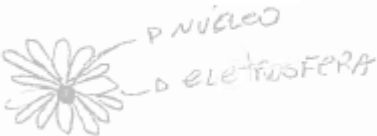


O átomo é constituído por um núcleo, contendo prótons com carga positiva (+), e Nêutron e uma eletrosfera, com elétrons em suas camadas; com carga negativa (-).
Quando esse elétrons se movimentam de um orbital ao outro, emite uma luz.

O magnésio ao contato com o fogo, emite uma luz com o certo tempo encostado na chama, liberando uma reação exotérmica "liberando calor".

A29

<u>partícula</u>	(1)
<u>Elétron</u>	(2)
<u>menor estrutura</u>	(4)
<u>está presente em tubo</u>	(5)
<u>Possui peso diferente em átomos distintos</u>	(3)




- menor estrutura da matéria
- parte "INDIVISÍVEL"

Fornece energia, os elétrons "saltam" p/ uma camada externa, quando retornam a energia é emitida na forma de luz.

A30

<u>energia</u>	(2)
<u>matéria</u>	(3)
<u>existência</u>	(4)
<u>início (origem)</u>	(1)
<u>reação</u>	(5)



O desenho preto é porque acredito que ele não apresente cor. O exemplo poderia ser um ^{qualquer}isótopo e seus 3 elétrons ao seu redor, sem posição definida, (como ~~ele~~) Contudo, mesmo que suas propriedades sejam complexas, sua estrutura em si seja simples.

Quando o magnésio foi submetido ao fogo, a energia fornecida a ele, ou seja, o calor, foi absorvida pelos elétrons da camada de valência, passando para um nível mais energético e depois emitindo essa energia absorvida em forma de luz. Também ocorreu a oxidação do magnésio. A energia fornecida fez o magnésio oxidar (perder e^-) e reagir com o oxigênio presente no ar.

A31

menor partícula	(1)
elétrons	(3)
núcleo	(4)
Dalton	(2)
indivisível	(5)

Na

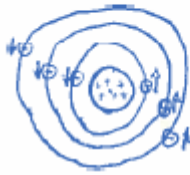


O átomo é o menor partícula da matéria, indivisível, e com características próprias, como os pontos de ebulição, fusão, eletronegatividade.

O magnésio quando excitado emite uma luz, isso ocorre porque o elétron quando excitado pula de uma camada para outra e no retorno libera uma energia armazenada nessa luz dentro do espectro de luz visível.

A32

núcleo	(2)
protéina	(3)
neutrons	(5)
eletródifera	(4)
elétrons	(1)



um átomo possui um núcleo carregado com cargas positivas e neutras onde se concentra a maior sua massa. Em volta possui elétrons girando em sentidos contrários e cada um em sua eletrosfera que demorou ~~menos~~ a circular em volta do núcleo devido a dificuldade de explicar como os elétrons orbitam ao redor do núcleo.

Não respondeu.

A33

<u>molécula</u>	(1)
<u>elementos químicos</u>	(5)
<u>elétrons</u>	(2)
<u>prótons</u>	(3)
<u>neutrons</u>	(4)



Átomos são os componentes de uma molécula. Ex: H_2O , temos 2 átomos de hidrogênio e 1 de oxigênio.

É possível observar o efeito fotoelétrico, que possibilita ver os elétrons em forma de luz.

A34

<u>INDIVISÍVEL</u>	(1)
<u>MECÂNICA QUÂNTICA DA MATÉRIA</u>	(5)
<u>ENERGIA</u>	(2)
<u>INTERACÇÃO</u>	(3)
<u>SUBSTÂNCIA</u>	(4)



O CENTRO É O NÚCLEO ONDE SE ENCONTRA CARGAS POSITIVAS E ~~NEGATIVAS~~ NEUTRAS, CADA "ANEL" QUE ENVOLVE ESSE NÚCLEO É UMA REGIÃO ENERGIZADA QUE SE ENCONTRA CARGAS NEGATIVAS QUE SE MOVIMENTAM E TEM QUANTIDADE DE ENERGIA RELACIONADA AO TAMAHO DO SEU NÚCLEO, E DE ACORDO COM A QUANTIDADE DE ENERGIA DE CADA ÁTOMO ELE VAI SE INTERAGIR COM OUTRO ÁTOMO.

ESSE FENÔMENO MOSTRA A MUDANÇA DE ESTADO DA MATÉRIA DO MAGNÉSIO, ONDE FOI EXERCIDO UMA GRANDE FONTE DE CALOR. O MAGNÉSIO OBSERVE TANTA ENERGIA QUE OS ÁTOMOS EXITADOS, SAINDO DE TODA SUA ORGANIZAÇÃO CRISTALINA, EMITE LUZ.

A35

<u>elementos químicos</u>	(3)
<u>moléculas</u>	(1)
<u>números atômicos</u>	(2)
<u>estados da química</u>	(4)
<u>energia</u>	(5)

pra mim o átomo é uma partícula
~~que~~ muito pequena, não tenho
 uma ideia de representação.

Não respondeu.

A36

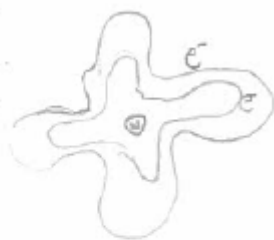
moléculas (1)
unidades (2)
varias quantidades (3)
tão p. diversa, como dls (4)
pequeno (5)

Os átomos são minúsculos, tão pequenos quanto um grão de areia. É muito bem estudado pelo conceito químico.

Não respondeu.

A37

Energia (01)
Movimento (04)
Radiacao (05)
camadas (03)
partículas (02)



N = núcleo
 E = elétron

Acredito que um átomo tenha esse formato, devido ao fato de mesmo possui camadas e essas camadas possuem um energia, e como essas energias possuem a mesma carga, ocorre uma repulsão entre essas partículas, fazendo com que o átomo adquira esse formato.

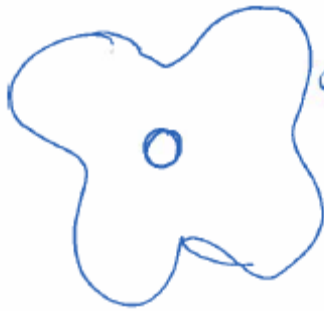
O magnésio tem número de oxidação +2, como trata-se de um metal, na presença de oxigênio formará óxido



Nessa reação foi possível analisar como chama interna e bracos. e o mesmo referiu-se a formação da reação.

A38

<u>núcleo</u>	(1)
<u>eletrosfera</u>	(2)
<u>cargas elétricas</u>	(4)
<u>níveis de energia</u>	(3)
<u>número atômico</u>	(3)

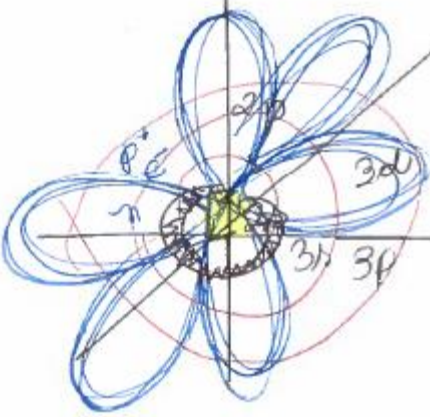


Cada átomo tem um núcleo e sua eletrosfera, e os elétrons são divididos em subníveis, e níveis de energia. Cada átomo tem sua carga elétrica e seu número atômico. A sua distribuição energética influencia na forma do átomo.

Não respondeu.

A39

<u>núcleo</u>	(01)	} P1 mim - pes de igual importância. Sem qualq um destes ã existe átomo.
<u>eltron</u>	(01)	
<u>próton</u>	(01)	
<u>neutron</u>	(01)	
<u>eletrosfera</u>	(01)	

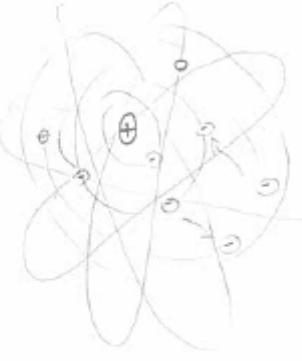


- átomo
- prótons, elétrons, neutrão
- núcleo
- orbitais
- níveis e Energia
- ...

Não respondeu.

A40

Dimensão	(1)
modelo quântico	(5)
elétrons	(2)
prótons	(3)
1. repulsão	(4)




O átomo moderno, como teoria, constitui-se de um núcleo, onde está localizada o próton (carga nuclear positiva) e ao seu redor, em várias orbitais, localiza-se os elétrons (carga negativa), este núcleo em comparação aos elétrons é muito maior, este atrai os elétrons ao seu redor, que ficam em transição devido sua repulsão ^{mutual} e as energias ^{externas} orbitais.

As moléculas do fogo se liga com as moléculas do magnésio, formando luz.

A41

<u>elétrons</u>	(1)
<u>Prótons</u>	(5)
<u>neutrões</u>	(4)
<u>matéria</u>	(2)
<u>núcleo atômico</u>	(3)




No desenho apresentado, está sendo mostrada a estrutura atômica que é constituída pelos elétrons. As linhas representam suas trajetórias. No centro está localizada o núcleo do átomo, onde se localiza os prótons e neutrões.

Não respondeu.

A42

<u>INDIVISÍVEL</u>	(3)
<u>ORIGEM</u>	(2)
<u>PROBABILIDADE</u>	(4)
<u>INCERTEZAS</u>	(1)
<u>QUESTIONAMENTO</u>	(5)



O átomo é partícula que fascina por não termos a questão de sua origem. O átomo é talvez a forma que temos de explicar o universo. Quando estudamos uma "coisa" minúscula podemos entender uma outra maior. O desenho representa o quanto é incerto a respeito do átomo e sobre nosso conhecimento sobre suas propriedades.

- O que pode se entender após a realização do experimento é que o magnésio está em um estado de "equilíbrio", antes de ser colocado em contato com a chama. Após o contato com a chama, o elétrons do Mg magnésio são agitados devido o calor, igualmente os elétrons da última camada de valência do Mg , não pertencente a $3s^2$, da sua parte para próxima camada devido ao aquecimento. Mas este mesmo aquecimento faz que o elétron tende voltar a sua camada original, ao seu estado de equilíbrio, assim a energia captada pelo aquecimento é liberada em forma de luz. A luz é representada ^{por} a faixa de onda que sobe metal, ou melhor é, apresenta quando se forma sua camada original.

A43

Não respondeu.

Não respondeu.

A reação de queima do magnésio é uma reação de oxidação que pode ocorrer naturalmente na presença do ar, e libera ^{energia} energeticamente quando fornecida energia ao sistema, na forma de calor.



A44

Não respondeu.

Não respondeu.

Quando recebe energia em forma de calor (através do chama da lâmparina), o magnésio, em suas camadas eletrônicas, os elétrons mudam de camadas eletrônicas, e ao retornarem a suas originais camadas eletrônicas liberam energia em forma de luz.

A45

Não respondeu.

Não respondeu.

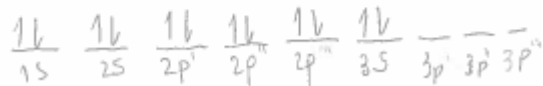
Quando aquecido, o magnésio absorve energia e o elétron muda de camada, e libera uma energia luminosa.

A46

Não respondeu.

Não respondeu.

$Mg^{12} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
 Quando é aquecido, o magnésio absorve energia, fazendo com que o elétron troque de camada, liberando energia luminosa.



A47

Não respondeu.

Não respondeu.

Se se fornecer energia ao magnésio, quando a quebra das moléculas efetivando a queima do produto, essa queima ocorre na liberação de elétrons, e liberando energia em forma de luz com sua queima.

A48

Não respondeu.

Não respondeu.

O magnésio reage com oxigênio do ar, formando o óxido de magnésio (MgO) que um sólido
 $Mg(s) + O_2(g) \rightarrow MgO(s)$

A49

Não respondeu.

Não respondeu.

Como o magnésio é um metal tem a capacidade de emitir luz.

A50

Não respondeu.

Não respondeu.

Magnésio é um metal de transição, conduz eletricidade, brilha

A51

Não respondeu.

Não respondeu.

O magnésio após entrar em contato com o chama depois de um certo tempo. É uma soma de uma quantidade de luz, esse ocorre através da reação exotérmica que ocorre com o mesmo.

A52

Não respondeu.

Não respondeu.

~~A luz que se dá...~~
A luz que o magnésio metálico propaga é o quantum que ele precisa e nada mais do que a energia adicionada ao magnésio que produz a sua luz e o quantum que ele precisa.

A53

Não respondeu.

Não respondeu.

No químico, o magnésio observa-se que a reação, libera uma luz na cor branca. O magnésio é um metal de transição, a reação com água forma o óxido de magnésio, um óxido branco.

A54

Não respondeu.

Não respondeu.

O magnésio sendo eletrolítico em contato com o O_2 forma um eletrodo

Apêndice E: Planejamento da Atividade da queima do magnésio

Planejamento da Atividade: Queima do Magnésio

Público-alvo

- Estudantes da disciplina de Química Geral no nível superior de ensino.

Duração

- Duas horas/aula (100 minutos).

Objetivo

Objetivos gerais:

- Investigar como os estudantes compreendem e explicam o fenômeno da queima de magnésio.

Objetivos específicos:

- Identificar as concepções alternativas dos estudantes acerca da queima do magnésio.
- Problematizar as respostas dos estudantes, buscando a compreensão do fenômeno.
- Debater alguns conceitos químicos necessários para a compreensão do fenômeno da queima do magnésio.

Recursos didáticos

- Lousa
- Giz ou caneta
- Projetor Multimídia

Conteúdo programático

- Transformações químicas: identificação de produtos e reagentes, representação de uma reação química, diferenciação entre uma transformação

química e física, energia envolvida nas transformações químicas, reação de oxirredução, combustão.

- Ligação química: ligação iônica, processo de formação dos compostos iônicos, estrutura dos compostos iônicos.

Abordagem metodológica

- **Problematização Inicial**

Iniciar a aula apresentando o experimento da queima de um pedaço de fita de magnésio. Essa atividade pode ser uma demonstração ou pode ser utilizado um vídeo do experimento. Os alunos terão de dez a quinze minutos para refletir sobre o fenômeno e responder à seguinte questão: Considere os parâmetros atômicos do magnésio e discuta o fenômeno observado com um olhar microscópico. Durante este tempo, os estudantes poderão fazer pequenos grupos de discussão.

- **Organização do conhecimento**

Após a discussão, solicitar aos estudantes quais foram as principais observações que fizeram durante o experimento e anotar suas respostas na lousa. Em seguida, a partir das observações macroscópicas citadas, discutir quais as hipóteses para a explicação do fenômeno no nível microscópico, buscando problematizar as concepções apresentadas pelos estudantes.

- **Aplicação do conhecimento**

Como forma de aplicação do conhecimento, será proposto aos estudantes que analisem as respostas propostas à questão inicial de seus colegas, buscando a compreensão do fenômeno.

Critérios de Avaliação

Os estudantes serão avaliados durante todo o processo, no que se refere à participação na atividade. Além disso, os conhecimentos químicos discutidos serão avaliados por meio de uma avaliação escrita.

Referência

https://www.youtube.com/watch?v=yI_ti5ul2nY, acessado em 20/03/2014.

Apêndice F: Transcrição da Atividade da queima do magnésio em uma das turmas pesquisadas

P: Bom pessoal, hoje pra gente finalizar nossa conversa, lembrando que daqui duas semanas será nossa primeira avaliação. [...] uma oportunidade pra você me falar o que você entendeu até agora. Então, até agora nós falamos dos parâmetros atômicos e da ligação química. Isso que vai ser avaliado lá no dia 14 ou 15 de abril. [...] Mas o que a Jheniffer estava propondo e eu também concordei é o seguinte: claro que você vai estudar com uma intensidade maior perto da prova. Então no dia 14 você vai sentar e vai estudar, aquilo que a gente viu. Mas antes da gente mudar de assunto eu queria ver o que ficou desse conteúdo, pra ver até, é uma forma de ver o que você precisa relembrar ou se algum conceito que você acha que está certo e na hora que vai explicar você fala, não, não é bem isso. Então é uma oportunidade que a gente tem de discutir. Então de que forma isso? Nós iríamos fazer o experimento aqui, mas nós temos um problema. Não existe esse material pra gente comprar e o material que tem pra comprar vai demorar uns dois meses pra chegar. Então eu falei, vamos usar o recurso que nós temos.

A2: Que material que é?

P: Magnésio metálico.

A19: Mas é caro?

P: Não tem dinheiro mesmo. Até vir, até chegar. Parte burocrática é complicado!

A19: De onde que vem?

P: Araçongas. Um lugar muito longe.

A10: Nossa senhora!

A2: Isso é usado para proteção em reservatórios, não é?

P: Enfim, ele tem várias aplicações. Porque ele serve como aquele eletrodo de sacrifício.

A2: É.

P: Então, mas pra gente adquirir pra hoje não iria ter tempo hábil. Nós estávamos conversando na semana passada, em uma semana a gente achou que teria mas não tem, mas isso não impede. Assim que chegar nós podemos repetir e seria uma oportunidade de colocar alguém aqui pra fazer o experimento e eu esperaria ali na frente da outra sala. Não tem nenhum problema, mas eu só esperaria ali na frente. Mas o que eu quero de você é o seguinte, até mesmo pra ficar algo menos formal se

vocês quiserem abrir um círculo ou semi círculo, ou agora ou depois, mas enfim, é só pra.. Ou se quiserem ficar assim pra gente assistir e depois a gente discute, o que eu quero com você é o seguinte: ver com vocês o que ficou dessas aulas até agora. A ideia é. Ai você vai falar assim, ah, mas eu ainda não estudei, tudo bem, mas a gente conversou sobre isso, então eu quero ver o que ficou. Porque eu tenho que lembrar que daqui a dois, três anos você vai estar terminando o curso e você não vai ficar toda hora recorrendo ao livro de novo, então alguma coisa tem que ficar. Assim como você sabe que dois mais dois é dezesseis, não é isso? Alguma coisa tem que ficar pra gente hoje. Então em um primeiro momento nós vamos, né, ver a prática que nós faríamos hoje e aí depois disso nós vamos analisar e discutir isso, você vão discutir comigo, com a Jheniffer sobre isso aqui, ok?

[Os alunos assistem o vídeo uma vez e na segunda vez o professor faz algumas explicações]

P: Então só colocando aqui algumas coisas, aquele em espiral é o metal ali.

A10: O que é que tem ali no potinho?

P: Aqui? É um querosene. Normalmente nós faríamos isso com um isqueiro.

A2: Isso aí até sair o resultado, a excitação dos elétrons, você queima o dedo.

P: Não, até com um palito de fósforo você consegue, mas um isqueiro você põe ali...

A2: Mas ia demorar um pouco até...

P: Por isso que a gente..

A2: Até lá você queimou o dedo!

P: Por isso que você tem um monte... Você tem dez chances de fazer isso, não é?

AA: [risos]

P: Então o que eu queria, o experimento é esse: nós temos magnésio metálico, que é aquela fitinha de magnésio, tem uma lamparina, poderia ser o bico de Bunsen.

A2: No bico de Bunsen seria mais rápido?

P: É uma coisa que a gente poderia discutir porque que é mais rápido.

A2: Está relacionado ao combustível também, não ta?

P: Então nós temos que ver assim, o experimento foi esse. O que nós temos que analisar, o que diferencia nós como químicos dos demais, é a nossa capacidade de observar o que aconteceu, e aí quando eu falo observar não vai ser só o que está ali, mas o que estava na volta também, e interpretar essa observação. Porque se a gente mostrar isso pra qualquer pessoa ela vai ver o que você viu ali. Ela vai ser capaz de interpretar o que ocorreu? Usando, nesse caso, aquilo que nós vimos até agora. Então

pra gente poder começar nossa discussão tem uma pergunta simples, tranquila, só pra gente começar essa discussão, ok? Depois a gente abre, aí se quiserem formar uma grande roda, se quiserem triângulos equiláteros, monoclinicos, triclinicos, enfim, aí fica à vontade. Para quem chegou agora, nós só estamos recapitulando as aulas, pra gente finalizar o conteúdo, ok? [...] Se quiserem formar grupos menores, grupos maiores, grupos individuais. Então o que nós vamos querer é o seguinte, vocês respondam essa pergunta, então a discussão vai ser em cima dessa pergunta. Mas pra não ter nenhuma influência minha eu queria que vocês respondessem do jeito que vocês entenderam disso daí e depois com base nisso a gente faz a discussão. Pense o seguinte, que esta seria a primeira pergunta da nossa prova. Tentem responder essa pergunta com aquilo que nós vimos até agora, ou seja, ah, eu não estudei ainda, mas alguma coisa ficou! Vamos ver o que que ficou. [...] Vamos estabelecer uns 5 minutos pra vocês responderem, senão a gente vai ficar até umas três horas da manhã aqui. [Os alunos têm um tempo, cerca de 20 minutos, para discutir e responder, enquanto isso o vídeo fica passando].

P: Bom, senhores, podemos passar pra parte divertida? Eu queria fazer o seguinte, se todo mundo falar ao mesmo tempo, a gente não vai se entender, então o que eu queria saber é: vocês querem mais um tempo pra discutir ou quando vocês responderam já foram discutindo? Você querem entrar num acordo entre vocês... Bom, a primeira coisa que que quero saber de vocês é o seguinte: tem o experimento, como a química nada mais é do que observação, o que que vocês observaram desse experimento, daí eu coloco no quadro pra gente poder.. Porque agora nós vamos tentar rever o que nós vimos até agora. Então em termos de observação, o que você como um químico, o que você observou neste experimento? Que possa ser utilizado depois na nossa discussão.

A2: Quanto maior a carga, no caso do cátion, acho que é maior a luminosidade observada.

P: Calma! Você não observou isso aqui. Você não viu a carga do cátion aqui, viu? A pergunta é o que que você observou neste experimento? Observação, antes de interpretar, primeiro é o que você viu.

A10: É facilmente maleável, ele foi deformado.

P: Quem?

A10: O magnésio. Metálico.

P: Isso. [Anota na lousa] Você viu isso. Que mais?

A20: Depois da queima mudou a coloração.

P: Depois da queima? [Anota na lousa] Que mais?

A42: Energia luminosa?

A7: Energia luminosa que libera é intensa.

P: [anota na lousa] Que mais?

A2: Tempo de reação?

P: Tempo de reação? Que mais?

A2: Coloração? Da luz emitida.

P: Que mais? Mais alguma coisa?

A20: O que está dentro da lamparina é parafina ou querosene?

P: Querosene ou álcool.

A2: óleo diesel.

P: óleo diesel, né? [Anota na lousa] Que mais? Bom..

A20: É um combustível? A gente vê uma fumaça saindo.

P: Fumaça?

A20: É, soltou uma fumacinha.

P: Depois que queimou? [Anota na lousa] É... tem bastante coisa pra discutir aqui!

Bom, a questão dessa observação, que é o que vocês viram aqui. Agora, o que nós

temos que analisar é o seguinte, e aí vocês que vão conduzir essa conversa agora.

Nós temos um metal, que é o magnésio, nós temos uma fonte de energia, de calor,

que é a lamparina ali, o fogo, e nós temos a reação que segundo vocês teve emissão

de energia luminosa, coloração da luz intensa emitida, uma fumaça e mudança de cor

do metal. É isso que nós observamos. Isso qualquer pessoa veria! A gente vai ali no

terminal de ônibus, qualquer pessoa veria, agora o que eu quero de você é o seguinte,

com base naquilo que nós vimos como que você explica essas características?

Primeira coisa: Nós tivemos uma reação química?

A#: Sim.

P: Tivemos. Qual é essa reação química?

A2: Queima.

P: É uma queima. Mas qual é a reação?

A43: Magnésio reage com oxigênio, formando um óxido.

P: Concordam? Não concordam? Magnésio com oxigênio dando óxido de magnésio?

Ok, se todos concordam que é essa reação vamos explica-la. E aí? Quem quer ser o

primeiro do coral? Argumentar sobre alguma coisa. Se não eu vou começar apontando, principalmente quem está com a mão na boca, quer falar primeiro.

A21: Houve realmente uma reação química?

P: Houve realmente uma reação química? É uma pergunta. Temos que a reação química é oxigênio com magnésio formando óxido de magnésio. Como que você prova que a reação química aconteceu?

A21: Mudança de estrutura.

P: Mudança de estrutura é sinal de reação química?

A21: A estrutura que eu estou tentando me referir é a matéria, é as propriedades, ou seja, nós temos um outro produto.

P: Nós temos um outro produto. Então, vamos partir da seguinte questão: A reação química aconteceu. Aconteceu porque houve mudança na sua estrutura. Estrutura de quem? Do produto, do reagente? Já que é uma mudança qual era a estrutura inicial e qual é a estrutura final então?

A19: Um pedacinho era reto, ele ficou distorcido.

P: Um pedaço reto ficou distorcido? Isso é algo visível, mas de novo, nós estamos tratando de química e estamos relacionando com o que nós vimos até agora. Então do ponto de vista molecular, do ponto de vista atômico, qual é essa mudança? Sim senhor [nome do aluno], eu sei que você quer dizer, pode falar!

A1: [balança com a cabeça que não]

P: Não. Quem que você quer que responda?

A1: [balança com a cabeça que não]

P: Ninguém, a gente vai ficar olhando um pro outro aqui. A questão é a seguinte: que mudança que aconteceu? Vocês me falaram que houve uma mudança. Ele era retinho, pelo que me falaram, e depois ficou distorcido. Mas é só essa mudança? Que outra mudança você viu nesse caso? Além disso. Vocês me falaram aqui, ó, depois da queima tem mudança de cor. Então, agora o que eu quero de vocês é o seguinte: Que mudança ocorreu ali dentro?

A45: Eu tinha o magnésio metálico e durante a queima ele se transformou no óxido de magnésio, então ocorreu ali uma reação com o oxigênio.

P: Então só repetindo pra todo mundo ouvir, como que é?

A45: Eu tinha o magnésio metálico e depois da queima ficou o óxido de magnésio. Que durante a queima gerou o óxido, reagiu com o oxigênio.

P: Então a primeira questão que a gente tem que pensar é: Como que é o magnésio metálico? Você está me dizendo que eu tenho o magnésio metálico, como que é no nível molecular, no nível atômico esse magnésio metálico? Se você tivesse que representar esse magnésio metálico, como que você representaria?

A42: Mg°

P: Mg° ? Mas naquela barrinha lá de magnésio o que eu tenho? Só um Mg° ?

AA: Não.

A45: Tem vários mols.

P: Tem vários. Mols? Isso.

A45: [acena com a cabeça que sim]

P: Não, só estou repetindo o que você está me falando.

A21: Tem vários átomos de magnésio.

P: Tem vários átomos de magnésio. Qual é a característica do átomo de magnésio que nós vimos até agora? Não necessariamente do átomo de magnésio, mas o magnésio é o quê? Segundo a nossa classificação?

A21: Um composto unido por ligação metálica.

P: Um composto unido por ligação metálica, um metal! Então, qual a característica de um metal? Que nós vimos até agora.

A21: Ele tem uma elevada energia de ionização. Baixa energia de ionização.

P: Baixa energia de ionização? Então você tem o magnésio que é constituído por átomos de magnésio e esses átomos tem baixa energia de ionização. O produto, qual é o produto dessa reação?

A21: Um óxido.

P: Óxido de...

A21: Magnésio.

P: E qual que é a composição, a dimensão desse óxido? De novo, no nível atômico, no nível molecular?

A21: É um composto formado por íons.

P: E quais são esses íons?

A21: Óxido e magnésio +2. Oxigênio -2 e magnésio +2.

P: Vocês concordam? É só esse produto? Deixa eu colocar aqui então, já que vocês estão. Eu vou escrever a reação aqui, a reação é essa ó? [...] Como que era a reação? Magnésio mais...

A21: O_2 .

P: O₂, formando MgO, sólido?

A45: Isso. Só que ali é meio oxigênio.

P: Ah, balanceando aqui. Então a primeira coisa, é essa a reação que aconteceu ali? Se você tivesse que escrever essa reação você escreveria ela dessa forma? Não. Como que você escreveria?

A2: Toda combust.. Não sei. Toda combustão tem liberação de CO₂ também.

P: Tem liberação de CO₂ porque você está reagindo uma matéria orgânica, que tem carbono. Então o produto seria o CO₂. Mas a pergunta é: eu teria esse CO₂ nessa reação?

A2: Não.

P: Mas alguém viu uma fumaça. Essa fumaça seria de onde?

A21: Impureza.

P: Impureza?

A20: Poderia ser daquele líquido escuro a fumaça?

P: Poderia ser do líquido escuro. Poderia ser impureza. Como que eu vou prova isso depois? Uma coisa é você está falando, outra coisa é uma prova.

A20: Poderia ver na lamparina se ela já está saindo fumaça, daí não seria do metal.

P: É como nós estávamos dizendo, como é um vídeo fica difícil da gente ter certeza se essa fumaça estava antes ou não. Mas antes da gente se concentrar na fumaça, né, não que não seja importante, mas só pensando o seguinte: eu queria ver com você, essa reação que aconteceu, ela está escrita da forma adequada?

A2: MgO₂.

P: Hum?

A2: Pensei que fosse MgO₂, e num....

P: É.... Não.

A21: Óxido de magnésio.

P: A estequiometria está certa, mas o que eu queria ver com você é o seguinte: esse magnésio, vamos tentar induzir então, alguma discussão, esse magnésio metálico, se eu colocar simplesmente ele aqui no cantinho, ele formou o óxido de magnésio? Ou seja, se eu deixar aqui, eu tenho oxigênio, não tenho? Porque que ele não reagiu então?

A21: Pode estar reagindo, só que com uma velocidade bem mais lenta, igual acontece com o ferro.

P: Ele pode estar reagindo com uma velocidade bem mais lenta?

A21: Como ocorre com o ferro.

P: Pode ser.

A21: A oxidação do ferro.

P: Mas você esperaria que isso acontecesse com o magnésio sabendo das características do magnésio? O magnésio, ele é qual tipo de metal?

A21: Metal alcalino terroso.

P: Metal alcalino terroso. Qual é a tendência dos metais alcalinos terrosos em relação aos outros metais? Por exemplo, o ferro.

A21: Reação com o oxigênio.

A45: Vai ganhar elétrons.

P: Quem vai ganhar elétrons?

A45: Oooo... Magnésio.

P: Magnésio não é um metal? Porque se a gente pensar aqui qual é o produto dessa reação?

A45: É um óxido de magnésio.

P: É então, o magnésio, qual é a carga dele?

A21: +2

P: Mas ele não vai ganhar elétrons? Mas o que eu quero dizer é em termos de reatividade, se você comparar o magnésio que é um metal alcalino terroso com outro metal, ferro, cobre, zinco.

A21: Vai ser menos reativo.

P: Quem vai ser menos reativo?

A21: O magnésio.

P: O magnésio é o menos reativo? Se eu pegar uma barra de ferro e colocar lá no fogo, vai acontecer o que aconteceu?

A21: Não.

P: Então quem que é mais reativo?

A21: O magnésio.

P: O magnésio. Como que você sabe isso? Energia de ionização, não é?

A21: Sim.

P: Então veja, os metais alcalinos e alcalinos terrosos são mais reativos do que outros metais, porque?

A21: Baixa energia de ionização.

P: Baixa energia de ionização. Agora se você pegar o magnésio e fazer aquilo que você falou ele vai oxidar mais lentamente sem ser aquecido? Ele vai, mas o produto formado vai ser o mesmo?

A21: Talvez dependa da concentração de oxigênio.

P: Se eu fizer do mesmo jeito. Eu faço um com e outro sem aquecimento. Eu vou ter o mesmo produto?

A21: Espera-se o mesmo produto.

P: Mas porque que eu uso o fogo? Porque que eu tenho que aquecer essa reação?

A1: Acelera o processo.

P: Acelera o processo? Catalisador? Mas porque que tem... esse calor, essa energia está associado a quê? Porque que você tem que fornecer essa energia que você está me dizendo que ela é um catalisador?

A2: Pela quantidade de elétrons.

P: Oi?

A2: Pela quantidade de elétrons.

P: Como que esse calor interage com esse metal? De que forma esse metal está entendendo esse fogo ali.

A1: Está fornecendo energia.

A42: Fonte de energia.

P: Fonte de energia pra quê?

A21: Pra colidir efetivamente com o oxigênio?

P: Pra colidir com o oxigênio?

A21: Efetivamente no sentido de reagir. A colisão com o oxigênio está acontecendo o tempo todo. Só que essa colisão, ela não vai ser efetiva enquanto eles não tiverem, os reagentes não tiverem um patamar de energia para que a reação ocorra espontaneamente.

P: Então lembrando lá, daquilo que a gente falou de estrutura cristalina, de organização, de retículo cristalino, essa energia que você está fornecendo pela lamparina, ela está associada a que tipo de quebra ou a que tipo de ruptura naquele metal? Ela está sendo utilizada pra quê? Eu estou fornecendo energia e essa energia está sendo utilizada pra quê? Pra favorecer a reação, mas de que maneira ela favorece essa reação?

A21: Energia de ionização.

P: É, eu estou pensando o que ocorre no metal, na barrinha de magnésio ali. O que acontece com ele?

A21: Ele vai aquecer a temperatura de fusão, vai fundir, quebrando, portanto, a estrutura do retículo.

P: Ele vai fundir? Pode ser que funda. Daí você teria que ver qual é a temperatura de fusão dele.

A21: 150.

P: Se for 150, qual é a temperatura daquela chama?

A21: Se fizer chegar essa temperatura naquela chama.

P: Ah, mas você o teste do bico de Bunsen, não fez? Da vela, você não ficou um dia lá, vendo aquela vela queimar. Você mediu a temperatura da vela, colocou o termômetro lá, não foi? Mas eu tenho uma dúvida, muitas dúvidas. Primeiro, eu acho que está faltando alguma coisa nessa equação aqui. Então fora isso, só pra lembrar eu teria que colocar aqui um triângulo pra indicar que tem o aquecimento, né? O triângulo representa o aquecimento. Então, porque? Porque eu tenho que aquecer pra fornecer energia pra romper ou favorecer a interação metal oxigênio. Essa interação sem aquecimento acontece? Acontece, só que eu tenho que ter energia suficiente pra isso. Se nós fizermos uma comparação, se você tiver um recipiente com água e aquecer essa água, essa água vai evaporar?

A21: Sim.

P: Mas se eu pegar o mesmo recipiente com água e deixar a temperatura ambiente, a água evapora?

A21: Sim.

P: Mas eu não estou fornecendo energia pra ela?

A21: Mas ela evapora.

P: Mas porque que ela evapora?

A21: Na verdade tem energia, ela não está vindo de uma fonte de energia como a lamparina, mas está absorvendo energia do ambiente onde ela se encontra, não é um sistema isolado.

P: Então eu tenho que lembrar o seguinte: quando eu forneço calor, quando eu forneço energia você aumenta o número de espécies que vai ter, o quê? A energia mínima necessária pra iniciar aquela reação química. Então no caso, se nós pensarmos na água, a 25 °C você não tem água evaporando? Tem, mas em proporção de quanto? Pras cem moléculas de água a temperatura ambiente, quantas estão evaporando?

Duas, três? Agora se eu pegar essas mesmas cem moléculas de água e aqueço, praticamente 90, 99 dessas moléculas tem tendência a evaporar. E porque que ela tem energia pra evaporar? Porque você forneceu energia pra romper as interações intermoleculares. Então quando você fornece energia pra esse sistema você está fornecendo energia pra ele romper, o quê? Quando você fornece energia pra esse magnésio você está fornecendo energia romper?

A3: Interações.

P: Interações entre quem?

A20: Entre os átomos de magnésio.

P: Entre os átomos de magnésio, então por isso que você fornece essa energia. Ela vai acontecer naturalmente? Vai, só que vai demorar muito mais tempo se não fornecer essa energia. Agora em termos de reação é só isso que está acontecendo?

A21: Tem liberação de energia.

A42: Teoricamente né?

A20: Transferência do elétron?

P: O elétron vai ser transferido, que já está aqui. Mas de produto, só tem esse produto na reação?

A21: Uma reação exotérmica vai ter liberação do...

P: Não, em termos de reação é só o que nós vimos ali. Essa reação só vai ter esse produto aqui? Não está faltando mais alguma coisa?

A20: Como assim?

P: Não, você não viu a reação? Olha ali no cantinho. O que que tem ali que não tem aqui?

A2: Mais dois elétrons.

P: Ham?

A2: Mais dois elétrons.

P: Mas os elétrons já estão aqui.

A42: Gás carbônico?

P: Gás carbônico?

A42: Não sei.

P: Mas ó, o que tem ali que não tem aqui? Vocês observaram, vocês viram, vocês falaram, mas está faltando um produto dessa reação.

A16: Ali a luz seria um produto?

P: É! A luz é um produto, não é? Antes da reação não tinha, não liberado luz ali, energia? Então a luz é o produto. Porque que você não colocou ela aqui na reação. Aquela luz é o produto da reação. Você só ficou no sólido, mas e produto? Só tem esse produto? Tem a luz. Agora vem a questão. Essa luz veio da onde?

A2: Excitação dos elétrons.

A20: O salto não é?

P: Mas de que maneira? Então aqui eu tenho, além disso, mais $h\nu$. Não tem como a gente saber o comprimento de onda, mas é uma luz branca. Vocês mesmos me falaram, energia luminosa intensa, coloração da luz emitida. Vocês falaram isso! Então eu tenho um produto. Então a luz, a energia é o produto dessa reação. Só que vocês esqueceram, porque foi embora. Não é isso? Você só ficou aqui. Mas essa luz veio da onde? Qual é a origem dela? Vocês me falaram que é do elétron, mas de que maneira?

A10: É da emissão de corpo negro?

P: Emissão de corpo negro? Não sei. Pode ser! Desenvolva o raciocínio.

A10: [risos]

P: Essa luz, pelo que vocês me falaram, ela está sendo emitida. Pra ser emitida o que aconteceu ali?

A21: Uma sobra de energia.

P: Uma sobre de energia? Concordam com isso? Essa energia sobrou de onde? Qual que é essa energia? Porque se eu tenho sobra significa que é um mais o outro ou um menos o outro, não é?

A21: [acena com a cabeça que sim]

P: Mais ou menos quem ali? De onde pode ter sobrado essa energia?

A21: A energia de ionização...

A20: A energia de quando ele saltou e ele voltou, no caso o elétron.

P: Mas aí se eu pensar na configuração eletrônica você vai ter o magnésio $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2$. Esse elétron aqui foi embora, não é? Porque formou magnésio +2. Na verdade, não é que ele foi embora, mas foi transferido para quem? Pro oxigênio pra formar o óxido. Ai, qual é? E ai?

A21: Então esse elétron que saiu da última camada do magnésio, ele saiu com uma quantidade de energia que é superior a quantidade de energia suficiente pra entrar na última camada do oxigênio.

P: Oxigênio. Teu raciocínio tá... Mas será que é só isso? Qual é, ai vamos de novo, aqui nós estamos trabalhando com orbital atômico, isso nós estamos pensando no átomo isolado, mas a minha reação envolveu o átomo isolado? Qual que é o produto dessa reação, o produto que formou, não foi além da luz não foi isso daqui? Isso daqui, qual é a característica dele, que você viu ali na reação? Alguém me falou...

A19: maleável?

P: Essa daqui? Depois da queima a mudança da cor do metal, ou seja, temos sólido. Então o que significa, eu parti de magnésio metálico, oxigênio cheguei num sólido, qual é a característica desse sólido quimicamente falando, além dele ser branco?

A21: Composto iônico.

P: É um composto iônico. Pra formar um composto iônico o que que eu preciso ter? Lembra? Eu trabalhando com energia, então a formação de um composto iônico ele está relacionado com qual característica que a gente falou na terça-feira?

A20: Diferença de carga?

P: Diferença de carga, além do que mais?

A21: ## Organização tipo rede, rede.

P: Formação de uma rede!?

A21: Rede cristalina.

P: Rede cristalina. A formação dessa rede cristalina ela absorver ou libera energia? Pra formar uma rede cristalina?

A21: Libera energia.

P: Libera energia. Libera energia?

A21: Sim.

P: Libera energia pra formar a rede cristalina? Então eu posso associar essa luz emitida a formação de uma rede cristalina? Posso?

A45: Sim.

P: Posso.

A21: É só pensar ao contrário, pra desestruturar essa rede

P e A21: [ao mesmo tempo] você tem que fornecer energia.

P: Mas lembrando que foi dito que: que é essa energia liberada é uma diferença, diferença do que? De energia de ionização de cada átomo, da afinidade eletrônica de cada átomo, da formação do composto iônico. Então, fazendo um balanço de tudo o que aconteceu naquele nível molecular ainda sobrou energia, e essa energia foi uma energia luminosa, certo? Agora eu vou colocar uma dúvida pra você, é o seguinte,

quem disse que reagiu com o oxigênio? Eu tenho aqui no ar, qual é a composição dessa atmosfera, normalmente? Não precisa me dar porcentagem, mas normalmente o ar é composto pelo que, só oxigênio?

AA: Nitrogênio

P: Nitrogênio.

A21: Gás carbônico.

P: Gás carbônico, o que mais?

A20: Enxofre.

P: Enxofre, o que mais?

A21: Vapor de água.

P: vapor de água, por que se me tacho o oxigênio nessa reação então?

A2: Porque o oxigênio é o comburente.

P: E daí? E o resto? Tem uma outra coisa, por que que o magnésio não reagiu com a própria chama da... Da lamparina ali? Porque se coloco ele ali dentro. Dentro ali do fogo tem oxigênio? E ai? Tudo aquilo que a gente falou até agora tem que servir pra alguma coisa, né, que é só um experimento simples, não é? Quando você foi lá e só funciona ali. Porque me falaram é o oxigênio, tudo bem, mais aqui nessa atmosfera não tem só oxigênio, porque você não pensou no nitrogênio? Ah, não reage, mas você está fornecendo energia. Porque você não pensou em água? Ou simplesmente porque não reagiu com o próprio fogo? E agora? Continua me dizendo que é o oxigênio?

A20: Pra ter reagido com fogo, ele tem reagido com quem isso ai?

P: Não sei...só estou fa... só estou colocando isso. Você, você não, me disseram que é o oxigênio, mas tem o oxigênio? Ora você que falou, ne! O experimento ali, pega o coquinho e põem ali, não é? E ai pega fo... ai emite luz e muda de cor, não é que ele ficou ali, e o fogo aqui e ele ali e ai tinha oxigênio em volta. Dentro do fogo ali eu tenho oxigênio?

A21: No fogo?

P: Não sei ue né...Por isso que precisava do experimento ai você colocava o fogo ali e via né!? Oh você tem a fogueira, se pega um pedaço de madeira e coloca ali na fogueira, a madeira vai pegar fogo.

A21: Sim, hum hum...

P: Vai queimar, mas ela se queimou por quê? Ela reagiu ali com o fogo. E se eu pegar esse pedaço de magnésio e colocar ali, ele não vai reagir com o fogo? Porque que se ta falando que vai reagir com o oxigênio?

A21: Porque essa reação com o fogo ela é, ela é representada... a combustão é representada com a reação do oxigênio. Por exemplo, a madeira mesmo, a madeira ela não reage, queimando ela vai reagir com o fogo? Ela reage com o oxigênio, a combustão da madeira.

P: Então dentro ali do fogo tem oxigênio? [pausa] Onde está esse oxigênio então?

A21: Esse ali?

P: É! Da reação aqui, ali? ## Só volta ali pra gente pensar, na hora que ele põem, ó, daqui ó, ele ta colocando aqui dentro ó... Ele coloca, ai sim, depois ele tira ó...não é?

A20: A chama... a chama amarela não significa, que a gente viu na aula experimental, geralmente não é quando está faltando oxigênio? Por isso ela é amarela?

P: Então é uma chama oxidante ou redutora?

A: Oxidante... Confuso... [riso]

P: Redutora, não é? Se ela é uma chama redutora aqui está tendo oxidação. Agora em bolo tudo agora? Hein?! E ai?... Vamos fechar a discussão se não daqui a gente não sai. Vamos lá! Isso é só um experimento de química, e o que você vai fazer pelo resto da vida, tem que ter uma explicação aqui, não é? É uma coisa que, igual você viu, você viu lá na prática a chama, é o que tem aqui. As características dos átomos, dos elementos nos vimos na teoria, agora é só tem que juntar tudo isso. [pausa] Hum? E ai? Vinte anos de estudo, né? Passou no vestibular, chega agora... Então veja, nós temos então a característica metálica aqui do magnésio, o brilho metálico, ai depois ele vem e coloca, ocorre a reação. Há emissão de luz. E quando essa luz cessa você tem um sólido branco, que é um composto iônico, então o composto iônico forma uma rede cristalina e para formação da rede cristalina eu tenho a emissão de luz. Então, essa emissão de luz eu posso associar a formação da rede cristalina. Agora o que nós temos que ver é: ele reage com quem? Com o oxigênio? Eu não tenho só o oxigênio na história. Como que você provaria que eu tenho um óxido de magnésio? Porque se você provar que isso formou, se você provar que isso formou só pode ter reagido com o oxigênio, mas se de repente aqui eu tenho um nitrato de magnésio, ele reagiu com o nitrogênio. Se eu tiver um carbeto de magnésio, ele reagiu com o carbono, né? Então a questão é, como que você prova que houve a formação do óxido? Porque é o único material que você tem, que é aquele material branco. Porque

a energia você não conseguiu armazenar, ela foi embora, mas você tem o que? O óxido, que é o produto, que está dizendo que é o óxido. Então como que você prova que este óxido foi formado?

A21: Porque dos gases, é... ele é o mais eletronegativo. Possui a menor energia... não, a maior energia, afinidade eletrônica.

P: É só uma teoria, prova! Eu só acredito quando você provar para mim. Como que você prova que este composto formou? Nós já discutimos na sala isso. Hum?! Não?

A21: Hummm!!!

P: E aí, como vocês provam?

A21: A gente pode... o senhor tinha falado na aula, quando dissolve ele na água ele vai formar a base e o ácido, não...

P: Está no caminho certo. Vamos lá, o que é que é?

A45: Vai formar o hidróxido né?

P: Vai formar um hidróxido. Então como que você prova que vai formar um hidróxido?

A45: Usando um indicador.

P: Usando um indicador, então, né, se você pegar esse composto e colocar em água e mostrar que o meio está básico, só pode ter sido o óxido de magnésio. Então se eu tenho o óxido de magnésio qual foi o meu outro reagente?

A21: Oxigênio.

P: Só o oxigênio. Veja, o que você tem que lembrar é o seguinte: toda reação química pode e vai acontecer. O que acontece é: que nestes processos eu tenho uma que predomina. Nada impede que de repente aquela fumaça que você viu pode ser o nitrato de magnésio que pode ser formado, não pode? Claro que pode, eu só preciso provar. Pode ter formado CO_2 , também pode, pode ser um material aqui desta lamparina, um barbante, pode, mas eu tenho que provar. Mas o que eu tenho de material pra fazer isso? Apenas um sólido branco. Ora, se eu tenho um sólido branco e eu estou propondo que é o óxido de magnésio, o que que eu tenho que fazer? Provar que é o óxido de magnésio. O que que nós vimos até agora que pudesse ser usado pra isso? Vamos dissolver em água e medir o pH. Se eu tenho um hidróxido, só pode ter sido o oxigênio. Mas eu posso ter o nitrato, posso ter o carbeto, posso ter o sulfeto, eu posso! Eu só preciso provar. Mas, predominantemente, nesta situação, o que formou foi o óxido de magnésio, que é aquele sólido branco. E, qual a característica daquele sólido branco? Ele é totalmente diferente do magnésio metálico, não é? Porque? Por causa da sua composição. Ele é quebradiço, você mesmo me disse, ele

formou... não sei, alguma coisa aqui, acho que eu apaguei, estava aqui o maleável aqui, que era o magnésio maleável, mas esse sólido branco que formou, alguém me falou que ele era retorcido ou era tortinho, sei lá, alguma coisa assim. Então, ou seja, eu mudei a estrutura. Então o que eu tenho que fazer? O que você precisa fazer? É tentar juntar isso aqui, não adianta só ficar decorando, ou memorizando, ou estudando pra prova. Tem que juntar, pra explicar uma coisa simples. Quando você for fazer esse experimento lá no laboratório [...], alguma coisa tem que sair, afinal de contas você está terminando o primeiro ano de química. Alguma coisa tem que ter ficado. Não adianta estudar de terça pra quarta, pra, a ta! Mas e depois, dois dias depois eu pergunto e não vem nada. E isso é só uma reação simples, imagina as próximas que virão. [...] Então só pra gente finalizar, pra dar um desfecho nisso: então esse experimento, ele ilustra a formação de uma ligação iônica, de um composto iônico. Nós poderíamos usar o cloreto de sódio, mas porque não usar o cloreto de sódio? Porque ficaria muito fácil. O que eu quero de você é o seguinte: que você fizesse em paralelo daquilo que nós trabalhamos na sala de aula com NaCl, com o óxido de magnésio, que em nenhum momento eu falei, a não ser ali no momento que eu falei da gente trabalhar em água. Porque eu quero ver assim: você consegue fazer esse paralelo com o composto iônico NaCl com o composto iônico óxido de magnésio? E como esse óxido de magnésio foi formado? Você consegue elaborar agora que a luz pode ser um reagente e pode ser o produto de uma reação? Por exemplo, no fogo, ele é o reagente da reação, porque se eu não tivesse fogo a reação não aconteceria. Então, além do magnésio e do oxigênio, eu tenho o fogo aqui no reagente. E eu tenho a luz como produto dessa reação. E essa luz pode estar associada a formação da rede cristalina, pode! [...] Com essa luz, se eu souber o comprimento de onda, a gente pode chegar naquela equação do Rydberg, onde você calcula o que? A diferença dos níveis de energia atômicos. Se eu sei que eu tenho uma luz branca, eu sei qual é o comprimento de onda. [...] Bom, vou deixar vocês refletirem sobre o que a gente falou e na terça feira a gente começa a falar sobre a ligação covalente.

ANEXO

Anexo A: Quadro do Conteúdo programático da disciplina de Química Geral.

1. Estequiometria:
 - 1.1. Massa Atômica Relativa e a Unidade de Massa Atômica;
 - 1.2. Massa Atômica Exata e a Abundância Isotópica;
 - 1.3. Quantidade de Matéria e o Mol;
 - 1.4. Massa Molar;
 - 1.5. Constante de Avogadro;
 - 1.6. Fórmulas e Equações Químicas;
 - 1.7. Relação de Massa em Reações Químicas;
 - 1.8. Reagente Limitante;
 - 1.9. Rendimento.
2. Estrutura Eletrônica:
 - 2.1. Origens da Teoria Quântica;
 - 2.2. O Espectro do Átomo de Hidrogênio e o Modelo de Bohr;
 - 2.3. O átomo segundo a Mecânica Quântica;
 - 2.4. Números Quânticos e Orbitais Atômicos;
 - 2.5. Configuração Eletrônica dos Elementos.
3. Tabela Periódica:
 - 3.1. Configuração Eletrônica e Tabela Periódica;
 - 3.2. Lei Periódica;
 - 3.3. Propriedades Periódicas;
 - 3.4. Elementos Representativos;
 - 3.5. Metais de Transição;
 - 3.6. Não Metais.
4. Ligações Químicas:
 - 4.1. Estrutura de Lewis;
 - 4.2. Ligação Iônica;
 - 4.3. Ligação Covalente;
 - 4.4. Ordem de Ligação;
 - 4.5. Comprimento de Ligação;
 - 4.6. Energia de Ligação e Frequência de Vibração;
 - 4.7. Polaridade de Ligação e Ressonância;
 - 4.8. Estrutura Molecular;
 - 4.9. Teoria de Repulsão dos Pares Eletrônicos;
 - 4.10. Teoria da Ligação de Valência;
 - 4.11. Hibridização de Orbitais;
 - 4.12. Teoria dos Orbitais Moleculares.
5. Estados da Matéria:
 - 5.1. Forças Intermoleculares;
 - 5.2. Propriedades dos Estados da Matéria;
 - 5.3. Lei dos Gases;
 - 5.4. Gás Real e Gás Ideal;
 - 5.5. Teoria Cinética dos Gases;
 - 5.6. Sólidos Covalentes e Iônicos.
6. Funções Químicas:

- 6.1. Funções Inorgânicas;
- 6.2. Funções orgânicas;
- 6.3. Conceitos de Ácido e Base;
- 6.4. Nomenclatura dos Compostos Químicos.
7. Termodinâmica Química:
 - 7.1. A Primeira Lei da Termodinâmica;
 - 7.2. Processos Reversíveis e Irreversíveis;
 - 7.3. Calor de Reação;
 - 7.4. Estado Padrão;
 - 7.5. Espontaneidade das Reações;
 - 7.6. Entropia;
 - 7.7. A Segunda Lei da Termodinâmica;
 - 7.8. Energia Livre.
8. Cinética Química:
 - 8.1. Velocidade de Reação;
 - 8.2. Ordem de Reação;
 - 8.3. Velocidade e Concentração;
 - 8.4. Concentração de Reagente e Tempo;
 - 8.5. Energia de Ativação;
 - 8.6. Catálise;
 - 8.7. Velocidade de Reação e Temperatura.
9. Equilíbrio Químico:
 - 9.1. Constante de Equilíbrio;
 - 9.2. Cinética e Equilíbrio;
 - 9.3. Termodinâmica e Equilíbrio;
 - 9.4. O Princípio de L^e Chatelier;
 - 9.5. Equilíbrio em Sistemas Gasosos;
 - 9.6. Equilíbrio Ácido Base;
 - 9.7. Solução Tampão;
 - 9.8. Hidrólise;
 - 9.9. Titulação Ácido Base;
 - 9.10. Produto de Solubilidade.
10. Eletroquímica:
 - 10.1. Número de Oxidação;
 - 10.2. Reações de Oxi-redução;
 - 10.3. Eletrólise;
 - 10.4. Pilhas;
 - 10.5. Potenciais Padrão de Redução.
10. Titulação Ácido Base;