



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUACAO EM DOCÊNCIA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM DOCÊNCIA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

MARIA EDUARDA DA SILVA OLIVEIRA

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MÓDULO DE ESTUDO DE
ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS SOBRE A
EVOLUÇÃO DE MODELOS ATÔMICOS**

BELÉM – PA
2016

MARIA EDUARDA DA SILVA OLIVEIRA

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MÓDULO DE ESTUDO DE
ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS SOBRE A
EVOLUÇÃO DE MODELOS ATÔMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemática, do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Jesus Cardoso Brabo.

BELÉM – PA
2016

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) –
Biblioteca do IEMCI, UFPA**

Oliveira, Maria Eduarda da Silva.

Produção e avaliação de um módulo de estudo de aspectos históricos e epistemológicos sobre a evolução de modelos atômicos / Maria Eduarda da Silva Oliveira, orientador Prof. Dr. Jesus Cardoso Brabo. – 2016.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Educação Matemática e Científica, Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemática, Belém, 2016.

1. Química – estudo e ensino. 2. Professores de química – formação. 3. Átomos – modelos. I. Brabo, Jesus Cardoso, orient. II. Título.

CDD - 22. ed. 540.7

MARIA EDUARDA DA SILVA OLIVEIRA

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MÓDULO DE ESTUDO DE
ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS SOBRE A
EVOLUÇÃO DE MODELOS ATÔMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Docência em Educação em Ciências e Matemática, do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Educação em Ciências.

Data da apresentação: 14 de novembro de 2016.

Conceito: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jesus Cardoso Brabo
IEMCI/UFPA –Presidente

Prof. Dr. Wilton Rabelo Pessoa
IEMCI/UFPA – Membro Interno

Prof. Dr. Alcy Favacho Ribeiro
FAQUIM/UFPA – Membro Externo

Ao Otávio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por conceder a mim o dom da vida.

Ao Prof. Dr. Jesus Cardoso Brabo pela sua paciência, confiança e amizade, e sobretudo, pela sua dedicação na orientação desse trabalho.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA) pelo apoio financeiro na realização desta dissertação.

Aos professores Prof. Dr. Wilton Rabelo Pessoa, Prof. Dr. Adriano Caldeira Fernandes e Prof. Dr. Alcy Favacho Ribeiro pelas contribuições ao trabalho e por aceitarem participar da banca.

Aos colegas do mestrado pelas experiências compartilhadas, em especial Rodrigo Vaz, pelo companheirismo, cuidado e amizade.

À minha família, cheias de mulheres batalhadoras, por terem sido meu espelho e minha força. Vocês contribuíram para formar tudo que sou e acredito.

Aos meus sogros Nazaré e Orivaldo, por dedicarem tanto amor e cuidado ao meu filho e preencherem o espaço nas minhas ausências.

À minha irmã Bruna Lívia pelo amor fraterno que temos e pela força que tornaram o caminho mais leve.

Ao meu pai, Edilberto, que mesmo ante as circunstâncias se fez presente com palavras de incentivo constantes.

À minha mãe, Severina que durante toda minha vida não mediu esforços para que eu chegasse até aqui, sempre com dedicação, cuidado e amor.

Ao meu esposo Leno Meireles por estar ao meu lado em mais essa jornada e compartilhar os momentos de felicidades e dificuldades, que sempre nos uniram cada vez mais. Obrigada por ser um excelente marido e um pai maravilhoso.

Ao Otávio, por ser uma peça motivadora, pelo amor incondicional e por me fazer vivenciar a linda experiência de ser mãe.

A todos que de alguma forma contribuíram para a construção deste trabalho, com um gesto, uma mensagem ou uma oração.

Muito obrigada!

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma pesquisa sobre a aprendizagem e o ensino de modelos atômicos e tem como objetivo elaborar e avaliar um módulo de estudo de aspectos históricos e epistemológicos sobre modelos atômicos na formação de professores de química. Inicialmente descreve e discute os resultados de sondagem de concepções alternativas de estudantes universitários de química sobre o tema e, a partir dessa análise, apresenta um texto didático sobre aspectos históricos e epistemológicos dos modelos atômicos, como forma de minimizar os problemas de aprendizagem detectados na amostra investigada e na literatura a respeito do tema. Os resultados da sondagem mostraram que os sujeitos, tal como de outros estudos análogos, não compreendem adequadamente a natureza, a história e o contexto de aplicação dos diferentes modelos atômicos. No caso, da amostra investigada, como se trata de futuros professores de química, isso se configura em um fato bastante preocupante. Por outro lado, os resultados de uma pequena amostra de estudantes universitários, que voluntariamente se dispuseram a ler o texto e responder questionários a respeito, indicam que a leitura de informações históricas e epistemológicas, apresentada no texto didático proposto, ajudou a minimizar alguns problemas de aprendizagem encontrados nas concepções desses futuros professores de química.

Palavras chave: modelos atômicos, formação de professores, mapa conceitual

ABSTRACT

The present work presents a research on the learning and teaching of atomic models and aims to elaborate and evaluate a module of study of historical and epistemological aspects about atomic models in the formation of chemistry teachers. Initially, it describes and discusses the results of a survey of alternative conceptions of university students of chemistry on the subject and, based on this analysis, presents a didactic text on historical and epistemological aspects of the atomic models, as a way of minimizing the learning problems detected in the sample Investigated and literature on the subject. The results of the survey showed that subjects, like other similar studies, do not adequately understand the nature, history and context of application of the different atomic models. In the case of the sample investigated, as it is about future chemistry teachers, this is a very worrying fact. On the other hand, the results of a small sample of university students, who willingly read the text and answered questionnaires, indicate that the reading of historical and epistemological information presented in the text did not help to found in the conceptions of these future professors of chemistry.

Palavras chave: atomic models, teacher training, conceptual map.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Possíveis órbitas elípticas segundo o modelo atômico Bohr-Sommerfeld (a) as três órbitas permitidas para $n=3$. (b) Precessão da órbita 3s causada pela variação relativística de massa (MCGRAW-HILL, 2002).....	23
Figura 2. Resposta de CARLA ao questionário inicial	42
Figura 3. Resposta de PEDRO ao questionário inicial.....	43
Figura 4. Resposta de LIA à atividade de expressão 1	45
Figura 5. Resposta de MARIA à atividade de expressão 1	46
Figura 6. Resposta de BIA à atividade de expressão 1.....	47
Figura 7. Resposta de TAÍS à atividade de expressão 1.....	48
Figura 8. Resposta de DANI à atividade de expressão 2	51
Figura 9. Resposta de LUCAS à atividade de expressão 2	52
Figura 10. Resposta de LIA à atividade de expressão 2.....	53
Figura 11. Resposta de BIA à atividade de expressão 2.....	54
Figura 12. Resposta de PAULA ao questionário final	60
Figura 13. Resposta de ANA ao questionário final.....	61
Figura 14. Resposta de CAIO ao questionário final.....	61
Figura 15. Mapa conceitual das evocações antes e após participar do minicurso.....	62
Figura 16. Mapa conceitual das evocações antes e após a leitura do livro	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Os problemas do ensino-aprendizagem de modelos atômicos	13
2.2. Uma breve história dos modelos atômicos	16
2.3. As lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos	25
2.4. Afinal, o átomo existe?	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. Fase 1: Coleta e análise de concepções alternativas sobre modelos atômicos	36
3.2. Fase 2: Elaboração e avaliação do texto didático	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. 1ª etapa da pesquisa: realização do minicurso	41
4.1.1. Atividade 1.....	41
4.1.2. Atividade 2.....	44
4.1.3. Atividade 3.....	49
4.1.4. Atividade 4.....	55
4.1.5. Atividade 5.....	56
4.1.6. Atividade 6.....	59
4.2. 2ª etapa da pesquisa: Produto.....	63
4.2.1. Resultados pré-teste	64
4.2.2. Resultados pós-teste	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES	76

1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos da educação básica em geral e do ensino de ciências, em particular, é aprender sobre a natureza da Ciência: do que trata? como progride? como é justificada? quais seus métodos? (PCN, 1998), pois aprender ciências não se reduz a aprender somente conceitos científicos, mas sua linguagem, atitudes e métodos peculiares.

O conhecimento científico de modo geral possui várias características peculiares que podem ser facilmente ilustradas, principalmente se voltarmos nosso olhar para a maneira como ele foi se desenvolvendo ao longo do tempo. De acordo com a visão epistemológica mais atual, o conhecimento científico não é pronto e definitivo, está sustentado por um paradigma que foi convencionado por um grupo social, mas que é passível de ser questionado, aprimorado ou até mesmo substituído (OKASHA, 2007; TABER, 2010; KRAGH, 2015). Infelizmente, ainda hoje, muitos professores de ciências não estão cientes disso e possuem uma visão distorcida do conhecimento científico, que alguns pesquisadores chamam de concepção empirista-indutivista.

O expressivo número de trabalhos analisados na revisão feita por Fernández *et al* (2002), por exemplo, mostram que as “concepções dos estudantes, e inclusive de professores, acerca da natureza da ciência não diferem das visões ingênuas adquiridas por impregnação social”. Em outras palavras, do ponto de vista da epistemologia contemporânea, grande parte dos professores, de todos os níveis de ensino, possui uma visão equivocada sobre ciência.

Köhnlein e Peduzzi (2002) descrevem que tal concepção se caracteriza por

[...] em geral, conceber de forma inadequada o trabalho científico. Em função disso, várias imagens distorcidas do conhecimento científico e da natureza da ciência podem ser disseminadas, entre elas: que existe um método único e infalível de fazer ciência, cuja metodologia é indutiva; que a ciência começa a partir da observação neutra dos fatos, sendo um conhecimento objetivo; que a ciência se relaciona a uma verdade absoluta, porque é algo provado; que o desenvolvimento científico ocorre de forma linear e cumulativa.

A epistemologia contemporânea a muito já superou essas ideias. Considera-se que o conhecimento científico é uma construção humana que se desenvolve por um processo descontínuo de acumulações e rupturas. As leis, princípios e teorias científicas são utilizadas para explicar, compreender, modificar e atuar sobre a realidade, ou seja, não pode ser considerado como verdade absoluta (OKASHA, 2007).

O conhecimento da área da Química, sendo um conhecimento científico, apresenta também essas características. As diversas variantes da teoria atômica, por exemplo, nos últimos dois séculos, têm sido usadas ostensivamente para explicar muitos fenômenos e processos físicos, químicos, biológicos e até mesmo psicológicos. Entretanto, o sucesso de suas aplicações não tem impedido que ela venha sendo objeto de constante avaliação e aperfeiçoamento. De tempos em tempos, as teorias atômicas têm sido baseadas em um conjunto de princípios teóricos que podem ser ilustrados pelos chamados modelos atômicos.

Gradativamente, alguns desses princípios são substituídos ou aperfeiçoados com base em estudos que buscam investigar perguntas que não conseguem ser respondidas pelo conjunto de princípios vigentes até então ou que surgem ao longo de estudos relacionados a fenômenos explicados por tais princípios. Ou seja, por mais que os modelos atômicos expliquem de forma útil e perspicaz a realidade, não podem ser confundidos com ela. As explicações científicas são formas de ver o mundo não a descrição exata dele. O caráter transitório das teorias científicas é bem discutido por epistemólogos como Popper (2004), Kuhn (2000), Lakatos (1998), entre outros.

Consideramos que há a necessidade na formação dos professores de química de abordar mais especificamente aspectos históricos e epistemológicos relacionados aos modelos atômicos e como o estudo desses aspectos pode contribuir para a formação de futuros professores de química? Assim o objetivo do trabalho é elaborar e avaliar um módulo de estudo de aspectos históricos e epistemológicos sobre modelos atômicos na formação de professores de química.

Este trabalho aborda problemas relacionados a uma visão empirista-indutivista (KÖHNLEIN e PEDUZZI, 2002) de ciência e suas implicações no processo de ensino-aprendizagem de Química, especificamente aqueles relacionados aos modelos atômicos, apresentando como produto de pesquisa um módulo de estudos de aspectos históricos e epistemológicos para o ensino de modelos atômicos na formação de professores de Química. Inicialmente descreve e discute os resultados de sondagem de concepções alternativas de estudantes universitários de química sobre o tema e, a partir dessa análise, descreve a elaboração e avaliação de um texto didático como forma de minimizar os problemas de aprendizagem detectados na amostra investigada e na literatura a respeito do tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Os problemas do ensino-aprendizagem de modelos atômicos

Estudos como os de Melo e Lima Neto (2010), mostram que, de modo geral, no ensino de química parece não haver nenhuma preocupação em esclarecer sobre a utilização dos modelos científicos pela ciência e pela própria área da Química. Tais autores afirmam que, em geral, o ensino de modelos atômicos se baseia em uma abordagem meramente cronológica e linear, os diferentes modelos são apresentados prontos, destituídos de contexto e aplicação.

Os conhecimentos da área da Química exigem muita abstração, justamente por tratar de entidades não observáveis. Chassot (1996), chama a atenção para a característica abstrata dos conceitos químicos, pois não são "acessíveis aos órgãos dos sentidos humanos", logo acabam desencadeando sentimentos de ceticismo. Quando na verdade os modelos atômicos deveriam ser encarados como constructos científicos empregados para representar uma realidade para fins de análise, compreensão e previsões sobre um fato ou fenômeno.

Algumas pesquisas têm apontado que o grau de abstração dos modelos atômicos torna-os sérios candidatos à formação de concepções alternativas por se tratar de conceitos que exigem uma habilidade que alguns autores consideram que os estudantes ainda não possuem no estágio de escolaridade que normalmente tais conhecimentos são apresentados para os estudantes.

“A natureza abstrata e não intuitiva dos conceitos envolvidos, a necessidade de interligar e relacionar os diferentes aspectos do conhecimento químico, a saber: macroscópico, microscópico e representacional, demanda um nível cognitivo que a maioria dos estudantes das primeiras séries do ensino médio ainda não desenvolveu”. (WARTHA *et al* 2010, p. 112)

Além do caráter abstrato do conceito de átomo como uma dificuldade para a sua aprendizagem pelos alunos do ensino médio, o mesmo exige compreensão clara a respeito da modelagem de conceitos científicos utilizada pela ciência, observando a possibilidade de representar uma mesma realidade sob diferentes modelos para evitar os riscos de confusão entre os modelos e a própria realidade (ASTOLFI, PETERFALVI e VÉRIN, 1998).

Muitos trabalhos, como por exemplo os de Taber (2003), Mortimer (2000), Gomes e Oliveira (2007), Santos (2011), Wartha *et al* (2010) e Brabo, Muniz e Oliveira (2013), que estudaram as concepções de modelos atômicos de alunos da educação básica e superior mostram em seus resultados concepções equivocadas sobre os modelos atômicos.

Em um artigo de revisão sobre concepções alternativas de atomística de estudantes com faixa etária entre 14 e 16 anos, Taber (2003) assevera que os estudantes constroem seus

modelos mentais a partir dos modelos históricos existentes trazendo elementos de mais de um modelo, ou seja, os modelos criados pelos alunos são frutos da mesclagem dos modelos históricos existentes com os conhecimentos previamente adquiridos pelos alunos. E ainda, que os estudantes não possuem habilidade de diferenciar os modelos atômicos e reconhecer as características de cada um, considerando seus valores científicos e também suas limitações.

Santos (2011) expõe em seu estudo que a diferença de usos de modelos por diferentes áreas da ciência refletem na maneira como são compreendidos pelos alunos e professores, exemplificando o uso de modelos para a estrutura celular utilizado na Biologia para uma entidade visível a partir de aparelhos microscópicos e os modelos atômicos estudados na Química como sendo uma construção teórica. Os seus estudos sobre as concepções de estudantes da educação básica sobre modelos atômicos demonstraram que os estudantes apresentaram a concepção alternativa de que átomo possa ser semelhante a uma célula.

Essa confusão de ideias de célula e átomo também já foi encontrado em trabalhos de Gomes e Oliveira (2007). Ao investigar obstáculos epistemológicos à aprendizagem de modelos atômicos em estudantes do ensino fundamental provocados por estratégias de ensino baseadas em analogias ou material didático encontrou a forte presença de obstáculo substancialista e animista.

Esses e outros obstáculos epistemológicos foram propostos por Bachelard (1996) como armadilhas e dificuldades na construção do conhecimento, sendo inerentes ao processo de aprendizagem. O obstáculo animista que coloca características dos seres vivos à matéria, tornando o conceito mais inteligível. Já o obstáculo substancialista pode ser compreendido como a materialização de conceitos carregando características físicas como corpos materiais, como consequência dessa visão podemos verificar a transposição de propriedades macroscópicas das substâncias, como dilatar e mudar de estado, são atribuídas aos átomos e moléculas.

Mortimer (2000), por exemplo, estudando as explicações de estudantes sobre experimentos como o aquecimento de tubos de ensaios com balões na boca e compressão do ar em seringas, explicitou como adolescentes, que já haviam estudado sobre modelos atômicos na escola, continuavam atribuindo propriedades macroscópicas aos átomos (dilatação e mudança de estado) e a dificuldade que eles apresentavam em aceitar a existência de espaço vazio entre as partículas de matéria.

Também Wartha e Silva Júnior (2011) ao estudarem uma estratégia de intervenção didática para a abordagem do assunto de modelos atômicos baseada na experimentação verificaram que aproximadamente 1/3 dos alunos mesmo após as atividades experimentais

apresentavam uma visão contínua da matéria demonstrando a resistência de aceitação de espaços vazios na matéria.

Em Sandri *et al* (2011), os autores buscavam investigar as concepções prévias de átomo dos alunos de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química. Foi aplicado aos alunos um questionário constituído por quatro questões abertas de química para verificar quais as concepções sobre a estrutura atômica que os alunos possuem. Os resultados mostram que os estudantes da graduação também apresentam dificuldades em compreender os modelos atômicos. Dos modelos construídos pelos mesmos pode-se perceber a maior semelhança com o Modelo Atômico de Rutherford, cujos principais elementos são a estrutura dividida em núcleo e eletrosfera e as partículas subatômicas.

Melo e Lima Neto (2010), após discutirem com licenciandos em química sobre essas questões, avaliaram a construção e aplicação de uma proposta de ensino de modelos atômicos elaborada por dois licenciandos. A proposta tinha como objetivo de discutir a natureza científica das representações e modelos científicos a partir da experimentação. Os licenciandos questionavam sobre as cores dos fogos de artifício e apresentavam situações para contrapor as ideias dos estudantes. Contudo, os estudantes tiveram dificuldades em aplicar os modelos atômicos adequadamente no contexto apresentado, atribuindo também as mesmas propriedades para o nível macroscópico e microscópico. Os esforços dos futuros professores não tiveram resultados significativos também por conta das dificuldades deles mesmos na mediação da atividade, limitações que na sua formação ainda precisava ser trabalhada.

Outro aspecto que deve ser considerado foi apontado por Taber (2003), onde o autor expõe que o modelo de ensino da natureza da matéria pode ser diferente do átomo da química moderna. Isso pode estar relacionado com a transposição do conceito científico para o currículo, podendo carregar algumas distorções do conceito original. Por exemplo, Schmidt (1991 *apud* TABER, 2003) relata que os alunos acreditam que o núcleo de um átomo deve conter um número igual de nêutrons e prótons, porquanto os nêutrons tinham o papel de neutralizar os prótons. Certamente parece que o modelo do átomo que é apresentado no currículo não é uma entidade que foi cuidadosamente projetado para fins pedagógicos.

Baseando-se na chamada Teoria das Representações Sociais, Brabo e Silva (2013) analisaram uma amostra de 78 estudantes de cursos de licenciatura que responderam voluntariamente a um teste de evocações semiestruturado, elaborado especificamente para avaliar a saliência de evocações de termos referentes ao conceito, estrutura, utilidade e analogias relacionados às suas ideias a respeito de teorias atômicas. Os resultados mostraram que as ideias dos futuros professores de química não diferiam significativamente de

estudantes de demais cursos de licenciatura e que, de certa forma, estavam muito próximas daquelas que estudantes de educação básica possuem sobre o átomo.

Como podemos ver, o problema da aquisição de concepções alternativas equivocadas sobre as teorias atômicas está presente em alunos de diversos níveis de ensino e até mesmo em professores de Química. Para entender melhor esses equívocos, parece-nos adequado apresentar uma breve história dos modelos atômicos para explicitar elementos que nos deem condições de discutir os aspectos teóricos, históricos e epistemológicos que estão em jogo.

2.2. Uma breve história dos modelos atômicos

Atualmente é impossível explicar toda a Química e boa parte da Física sem usar o conceito de átomo. Mesmo que não seja possível observar átomos diretamente, químicos e físicos atribuíram a essas entidades importantes propriedades que os ajudam a explicar a estrutura e comportamento do mundo e ainda nos fornecer a base para uma quantidade enorme de tecnologias contemporâneas.

O conceito de átomo passou através de, pelo menos, quatro etapas principais, desde os gregos antigos a teoria quântica moderna. Não seria incorreto dizer que um bom esboço dessa história vai de Leucipo à Linus Pauling.

Em textos como os de Cantore (1969) e Berryman (2008), entre tantos outros artigos e manuais de história da Ciência, é comum atribuir aos filósofos gregos Leucipo e Demócrito a ideia de que o mundo é composto de átomos (do grego *a* [não] + *tomos* [cortar]). Para tais filósofos, objetos indivisíveis que diferiam um dos outros em tamanho, forma e movimento, que se moviam em uma espécie de vácuo microscópico que não podia ser percebido a olho nu.

Segundo Berryman (2008), as ideias de Leucipo e Demócrito só sobreviveram em relatos de terceiros. Um dos poucos relatos detalhados sobre as ideias desses filósofos sobre a existência de átomos foi escrita pelo poeta romano Lucrécio (2001), que viveu de, aproximadamente, de 99 a 55 a.C. De acordo com seu livro, *De Rerum Natura*, os átomos são, as últimas partículas que constituem a essência de todas as coisas. Os átomos estariam em constante movimento e possuiriam uma grande variedade de formas. Tais formas seriam as responsáveis pelas propriedades observadas nos corpos materiais. Por exemplo, o azeite flui mais lentamente que o vinho, porque os átomos de óleo são maiores e mais intimamente ligados do que os átomos de vinho. Mel e leite possuiriam sabor agradável para a língua por serem compostos por átomos com superfícies lisas e redondas, enquanto substâncias ásperas e

amargas consistiam de átomos mais rugosos que arranhariam os órgãos de nossos sentidos. Coisas que são duras e pesadas, como diamantes e ferro, são compostas de átomos que estão ligados entre si mais forte do que os átomos de substâncias leves e moles, como líquidos. De acordo com Lucrecio, as mudanças no mundo poderiam ser explicadas em termos de movimento e formato de átomos, não em termos das ações dos deuses.

Cantore (1969) de forma abrangente resume as principais características do conceito de átomo de Leucipo e Demócrito:

[...] matéria é constituída de partículas últimas, que são intrinsecamente imutáveis e indivisíveis [...] átomos, são extremamente pequenos, corpúsculos rígidos absolutamente idênticos, distintos entre si apenas em forma e tamanho. Coisas macroscópicas diferem umas das outras por causa dessas diferenças irreduzíveis entre os átomos das quais são compostas, e também por causa do arranjo mútuo dos átomos entre si. Átomos se movem sem cessar de forma espontânea e aleatória em um vácuo [ou vazio], como poeira, podem ser vistos dançando em um raio de sol, sem vento. Os átomos se reúnem por necessidade ou forma, através de uma espécie de mecanismo de gancho-ilhós, não por forças atrativas. (CANTORE, 1969, p.17).

Os atomistas gregos também propuseram uma espécie de princípio metafísico de conservação de matéria: átomos não podiam ser criados nem destruídos, os constituintes fundamentais do mundo permaneciam tão jovens e imaculados como quando foram criados (CANTORE, 1969). É importante ter em mente que tais ideias eram opiniões metafísicas sobre a natureza da realidade, e não hipóteses empiricamente deduzidas. Demócrito, especialmente, queria provar que a mudança é real e logicamente possível, contrariando as ideias de Parmênides de que toda a mutação era ilusória. Para Parmênides o “não-ser” era apenas uma negação do “ser” (o calor a negação do frio, a escuridão a negação da luz etc.), portanto não faria sentido procurar um “ser-absoluto” [elemento] último das coisas ou mesmo vários "seres-absolutos", pois para separá-los precisaria haver algo que não fosse um "ser", e isso é logicamente impossível (CANTORE, 1969).

Como era de se esperar o conceito grego de átomo é claramente muito diferente das modernas teorias da estrutura atômica. O átomo grego não tinha nada a ver com nossos atuais conceitos elemento químico e molécula. Era uma interessante ideia contra intuitiva para a época que, juntamente com as ideias de Platão sobre as formas dos sólidos básicos que comporiam o mundo, acabou um tanto quanto ridicularizada nos escritos de Aristóteles, que por sua vez, acabaram fazendo com que o modelo de cinco elementos (água, ar, terra, fogo e éter), defendido nesses escritos, tivesse uma maior repercussão entre os eruditos, tendo sido

usado inclusive pelos alquimistas da Idade Média, para explicar e prever o comportamento da matéria e do universo durante séculos.

Uma das principais críticas de Aristóteles à teoria atômica de Leucipo e Demócrito se referia ao fato de que se existissem átomos para cada tipo de substância, não haveria possibilidade de transformações químicas, o que evidentemente se choca com as evidências empíricas (HERMOSO e ORNELAS, 2009). A ideia da existência de átomos só viria novamente à tona no século XVII com Gassendi e, definitivamente começaria a ganhar força com Dalton no início do século XIX.

Segundo Cantore (1969) os poemas de Lucrécio e as ideias de Epicuro, outro filósofo grego que defendia uma variante da ideia de átomo, foram redescobertos no século XV a.C. e influenciaram muitos pensadores importantes, incluindo Francis Bacon, Pierre Gassendi, Robert Boyle e William Higgins.

Segundo Filgueiras (2004) Gassendi inspirou-se nas ideias de Epicuro para contrariar a ideia cartesiana de um universo infinitamente divisível sem espaços vazios. Também foi o primeiro a utilizar o termo "molécula" ao descrever um aglomerado de átomos, mas sem o conceito moderno de elemento químico.

Boyle após ter feito muitas experiências e formulado as equações que relacionavam medidas de temperatura e pressão de gases, mencionou a existência de "corpúsculos" constituintes dos corpos, ao invés de fenômenos que não são oriundos apenas de trocas entre as características aristotélicas da matéria (FILGUEIRAS, 2004).

Em meados de 1780, Lavoisier revolucionou a química com o desenvolvimento da Teoria Combustão do Oxigênio, refutando a teoria do flogístico de Stahl, sem, no entanto, apoiar a teoria atômica da matéria. Via os elementos químicos simplesmente como substâncias que não poderiam ser decompostas em outras (FILGUEIRAS, 2004). Sua lista incluía elementos como o oxigênio, hidrogênio, e ferro, mas também luz e calor. Mas seu princípio de conservação de matéria seria decisivo para o estabelecimento da ideia de átomo de Dalton.

Filgueiras (2004) também descreve que William Higgins, um químico irlandês pouco mencionado em livros de História da ciência, usou o termo "partículas últimas" em um livro publicado em 1789, para se referir as unidades dos elementos propostos por Lavoisier. Neste livro Higgins supunha que as partículas últimas são todas idênticas em peso, como as partículas de enxofre e de oxigênio no dióxido de enxofre. Anos mais tarde, Higgins inclusive chegou uma controversa reivindicação pelo crédito da descoberta da teoria atômica, mas não obteve sucesso. A originalidade dos argumentos utilizados por Dalton para defender a teoria

atômica diferia bastante dos usados por Higgins para defender a existência de partículas últimas, apesar de suas hipóteses terem certas similaridades.

Segundo Oki (2009), no início do século XIX, ao estudar a natureza do vapor de água na atmosfera, Dalton conjecturou que a atmosfera é composta de vários gases que se misturavam apenas de forma mecânica, ao invés de estarem quimicamente combinados, como se pensava até então. A fim de explicar porque a água não absorve cada tipo de gás no mesmo caminho, postulou a hipótese de que os gases diferem quanto ao peso relativo de suas partículas últimas (átomos). Em 1808, Dalton generalizou que todos os átomos de um dado elemento são idênticos e têm o mesmo peso invariável, e de que os átomos de diferentes elementos têm pesos diferentes. A principal diferença entre os conceitos antigos de átomos e ideia de Dalton foi sua hipótese de que a propriedade crucial de átomos, seu peso, variava de forma regular (em proporções fixas) com elementos diferentes. As mudanças em relação aos pressupostos de teorias mais antigas (Leucipo, Gassendi e Higgins) não era tão grande, mas forneceu um poderoso e interessante aparato teórico para explicar as características quantitativas do comportamento dos gases e outras substâncias. Para Dalton, elementos como oxigênio eram fundamentais (primários). Analogamente aos atomistas gregos, Dalton afirmou que os átomos eram minúsculos, discretos, indivisíveis, indestrutíveis e recobertos por uma espécie de camada de calor que, por sua vez, era responsável pela ligação ou repulsão entre os diferentes átomos.

As ideias de Dalton não foram aceitas com tanto entusiasmo quanto se pode pensar. No início do século XIX, houve grandes controvérsias sobre a natureza dos átomos (OKI, 2009). Somente o aperfeiçoamento dos métodos de determinação de pesos atômicos e o contínuo levantamento das propriedades químicas das substâncias aliados aos esclarecimentos de Canizzaro sobre as diferenças dos conceitos de átomos e moléculas possibilitaram, por exemplo, que Mendeleev desenvolvesse a tabela periódica dos elementos e Kekulé e outros desenvolvessem a teoria da valência que explicava como os átomos se combinavam em moléculas (OKI, 2009).

Mas uma grande mudança no conceito do átomo viria como um resultado da descoberta do elétron, e as experiências Bunsen e Kirchhoff ao descobrirem que os espectros eram uma espécie de impressão digital dos elementos químicos (FILGUEIRAS, 1996).

Da observação das regularidades em estudos espectroscópicos de emissão de energia do hidrogênio, tornou-se claro que os átomos têm uma estrutura complexa, mas ordenada. Provas decisivas da existência de subpartículas atômicas foram obtidas nos estudos dos chamados raios catódicos que, tal como a luz, se deslocavam em linha reta, mas possuíam

momento, transmitiam energia, eram fortemente desviados por um campo magnético, e, mas eram totalmente independentes da natureza química do gás residual em o tubo e o material que constitui o cátodo (FILGUEIRAS, 1996).

A aplicação de ideias sobre eletricidade e magnetismo de Faraday e a observação de que a relação entre carga e massa dos raios catódicos (e/m) se mantinha constante independente do gás residual do tubo, acabou levando, Joseph John Thompson, em 1897, então diretor do Laboratório Cavendish na Universidade Cambridge, a postular que a deflexão dos raios só poderia ocorrer se eles fossem considerados partículas com energia negativa e com massa bem menor que as massas atômicas dos elementos químicos até então conhecidos. Na época, acreditava-se que o hidrogênio fosse a menor partícula existente. Além disso, os raios podiam penetrar a matéria sólida. Vinte anos mais tarde Thompson combinou a descoberta de seus elétrons com a descoberta dos chamados raios canal de Goldstein, que se deslocavam em sentido oposto aos raios catódicos e possuíam uma relação e/m milhares de vezes maior que a dos raios catódicos, para concluir então que átomos podiam ser estruturas complexas pelo menos dois tipos de componentes menores formando uma esfera homogênea carregado positivamente com elétrons uniformemente todo o volume dessa esfera, como ameixas em pudim de ameixas (TAVARES, 2011).

De acordo com THAGARD e TOOMBS (2005) o descobrimento desses raios-partículas levaram os cientistas a investigar como ocorria a interação deles com diferentes substâncias sólidas e líquidas, campos magnéticos etc. Trabalhando nos laboratórios de Thompson, Rutherford descobriu, em 1899, que certas substâncias emitiam partículas que denominou de *alfa* e as usou para observar seu comportamento ao atravessar diferentes materiais, entre outros, folhas finas de ouro (por seu um dos poucos metais que poderia ser transformado em lâminas bem finas)

Com isso em 1906, após terem desenvolvido instrumentos e técnicas para estudar o espalhamento das então recém descobertas partículas *alfa*, Rutherford, com ajuda Geiger e Mardsen, elaborou uma configuração experimental que consistia em um emissor de partículas alfa, uma folha fina de ouro e várias telas de sulfeto de zinco colocadas em torno do alvo para registrar as deflexões das partículas emitidas. Os resultados da sua experiência indicaram que 98% das partículas *alfa* passavam através da folha, enquanto a maioria dos 2% restantes desviava de forma angular e somente uma porcentagem muito pequena, de 0,01%, ricocheteava para trás. Esse resultado contrariava a previsão do modelo de Thompson de que a grande maioria das partículas *alfa* lançadas contra a superfície de metais ricochetearia na rede de átomos do metal (TAVARES, 2011).

Em artigo de 1911, Rutherford propôs seu revolucionário modelo planetário, onde os átomos eram representados por região central positivamente carregada que ocupava um décimo de trilhonésimo do volume total de cada átomo (TAVARES, 2011). As partículas que formavam essa região foram denominadas de *prótons*, que por sua vez eram responsáveis por quase toda a massa atômica, enquanto as partículas negativamente carregadas, ou *elétrons*, moviam-se em uma região cuja proporção devia ocupar um volume extremamente grande do espaço atômico da região ao redor do núcleo. Proporcionalmente, se o núcleo atômico fosse do tamanho de uma bola de gude sua eletrosfera equivaleria a um estádio de futebol do tamanho do Maracanã.

Rutherford e sua equipe calcularam que a lâmina fina de ouro, utilizada no experimento de bombardeamento de partículas *alfa*, devia ter aproximadamente mil camadas de átomos para serem atravessadas e a só a existência desse enorme espaço vazio explicava a passagem direta da maioria das partículas *alfa* lançadas contra as folhas finas de ouro. (TAVARES, 2011). Para explicar o fato dos elétrons não “caírem” no núcleo devido ao princípio de atração de cargas opostas, Rutherford supôs que força centrífuga de movimentação dos elétrons em órbitas circulares ou elípticas proporcionava o contrapeso suficiente para evitar o colapso e garantir a estabilidade, da mesma forma que os planetas se mantêm girando em torno do Sol.

No entanto, isso não resolvia o problema da estabilidade do átomo, pois, através das aplicações das equações de eletromagnetismo de Maxwell, sabia-se que cargas elétricas aceleradas emitiam energia, e a perda de energia faria os elétrons espiralarem rapidamente em direção ao núcleo, emitindo radiação em todos os comprimentos de onda. Por outro lado, já era conhecido, através dos estudos dos espectros de emissão, que quando os átomos emitem radiação, o fazem somente em certos comprimentos de onda, específicos para cada elemento, e não em todos os comprimentos de onda como as equações do eletromagnetismo previam (TAVARES, 2011).

Os estudos dos espectros de emissão e absorção de elementos químicos foram desenvolvidos em meados de 1860 pelos cientistas Bunsen e Kirchhoff que, com ajuda de espectrógrafos inventados por eles próprios, perceberam que as linhas espectrais podiam ser usadas como uma espécie de impressão digital dos elementos, descobrindo inclusive novos elementos como o Césio e o Rubídio usando essa técnica (FILGUEIRAS, 1996).

Em 1913, em uma tentativa de esclarecer a origem do padrão de emissão de energia de elétrons, Niels Bohr combinou as ideias da estrutura interna do átomo de Rutherford com a quantização de energia das equações para o comportamento de radiações térmicas de Planck, propondo que elétrons giram em torno do núcleo e dão “saltos” entre os níveis de energia,

emitindo ou absorvendo energia em forma de luz devido a esses saltos. As equações propostas por Bohr com base nesse modelo estavam de acordo com as energias estimadas a partir dos espectros do hidrogênio e delas foi possível derivar uma expressão empírica proposta por Balmer que equacionava as distâncias de certas linhas dos espectros do Hidrogênio, chamadas então de série de Balmer. Esse fato foi bastante positivo para a modelo de Bohr, mas não suficiente para torna-lo amplamente aceito pelos cientistas que lidavam com esses problemas (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Já em 1891, Michelson havia relatado que a série Balmer do espectro de hidrogênio não era composta de linhas verdadeiramente únicas. Embora esse detalhe fosse incompatível com a teoria de Bohr, foi ignorado ou não considerado como um argumento de peso por causa da pequena ordem de grandeza em causa (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Mas o modelo de Bohr do átomo tinha uma grande desvantagem, por não explicar os espectros de He^+ e Li^{2+} , muito menos os de metais alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs), que, tal qual o hidrogênio, também possuíam um único elétron de valência.

Segundo Niaz e Cardellini (2011), Sommerfeld, no entanto, considerou a análise de Bohr do espectro do hidrogênio apenas como uma aproximação, já que era baseada em apenas uma condição quântica: a quantização do momento angular. As órbitas dos elétrons de Bohr eram todas circulares, que para Sommerfeld teria sido uma suposição útil, porém muito simplificada. Bohr também reconheceu que sua teoria quântica original estava incompleta no sentido de que, embora tivesse conseguido prescrever frequências, não tinha nada a dizer sobre intensidades e polarizações. Em contraste, Sommerfeld especificou não só a forma da órbita do elétron (que, por analogia com os planetas do sistema solar, poderia ser elíptica em vez de circular), mas também a sua orientação no espaço. Diferente do modelo de Bohr 1913, os elétrons, tais como os planetas de Kepler, moviam-se em elipses e durante suas órbitas cruzavam a região de elétrons mais internos, causando assim o fenômeno de acoplamento dos elétrons registrados nos espectros dos elementos químicos. Em outras palavras, o modelo de Bohr-Sommerfeld considerava o movimento bidimensional do elétron no seu plano orbital.

Segundo Niaz e Cardellini (2011), tratando o problema relativisticamente, Sommerfeld mostrou que para cada movimento periódico sob a influência de uma força central, o elétron com massa m descreve uma roseta ou, mais precisamente, uma elipse com um periélio em precessão, com um dos seus focos no núcleo.

Para núcleo de hidrogênio, com um ponto de carga, as energias de todos os níveis com o mesmo n seria idêntico. Mas para um núcleo de carga igual a três rodeado por uma camada interior de dois elétrons, como Li , um elétron em na órbita circular externa teria de sofrer uma

atração líquida de 1, enquanto os elétrons da órbita altamente elíptica iria penetrar na camada mais interna e sentir uma carga aproximando 3 em parte de sua travessia. Assim, as órbitas altamente elípticas teriam uma estabilidade adicional. A órbita S , sendo a mais elíptica de todas no modelo, seria muito mais estável do que demais, como mostra a Figura 1.

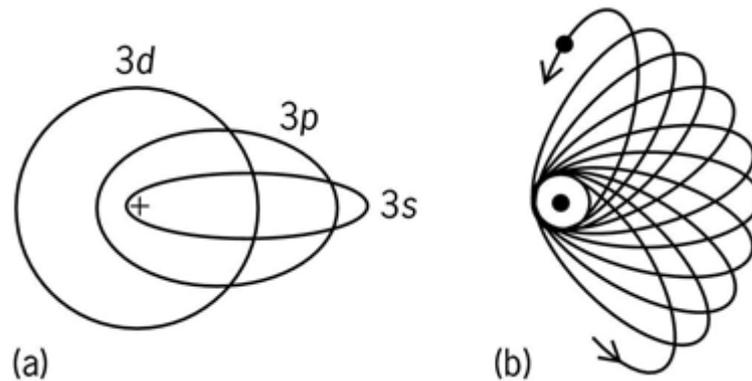


Figura 1. Possíveis órbitas elípticas segundo o modelo atômico Bohr-Sommerfeld (a) as três órbitas permitidas para $n=3$. (b) Precessão da órbita $3s$ causada pela variação relativística de massa (MCGRAW-HILL, 2002)

O modelo de Bohr-Sommerfeld do átomo com órbitas elípticas foi amplamente aceito pela comunidade científica como uma alternativa mais sofisticada do modelo de Bohr. Sommerfeld desenvolveu estas ideias em seu famoso livro *Atombau und Spektrallinien*, que foi escrito principalmente para estudantes e não para especialistas em física atômica, baseado em cursos ministrados por ele na Universidade de Munique, em 1916-1917, e publicado pela primeira vez em 1919. Esse livro passou por várias novas edições e, por muito tempo, foi considerado uma “bíblia” pelos físicos da teoria atômica (NIAZ e CARDELLINI, 2011)

Mas em pouco tempo surgiu um modelo alternativo ao de Bohr-Sommerfeld que, provavelmente, começou a ser montado quando em 1922 o francês Louis de Broglie apresentou equações que consideravam a dualidade onda-partícula da luz e, no ano seguinte, seria corroborada experimentalmente pelo americano Arthur Holly Compton ao demonstrar que ocorria alterações no comprimento de onda durante a colisão de raios gama com elétrons. Tal fenômeno, que ficou conhecido como efeito Compton, poderia ser explicado se assumíssemos que os raios gama são fótons com energia e momento, ou seja, também se comportam como partículas.

Segundo Dubson (2008), no final de 1925, Erwin Schrödinger, então professor de Física na Universidade de Zurique, começou a pensar em desenvolver sua famosa equação de ondas de matéria depois de ouvir, durante um colóquio no qual falava sobre a hipótese de de

Broglie, a acusação de Peter Debye de que a teoria da dualidade onda-partícula era “infantil”, pois “para lidar adequadamente com ondas era necessário dispor de uma equação de onda”.

Um ano depois Schrödinger apresentou sua equação de ondas de matéria, pressupondo que uma partícula livre (energia potencial = $V = 0$) poderia ser descrita como uma espécie de onda:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(\Psi)$$

Onde: h a constante de Planck

$\partial \psi / \partial t$ é a variação da função de onda em função do tempo

m é a massa da partícula associada com esta função de onda

$V(\psi)$ é a energia potencial da partícula

Dubson (2008b) relata que o físico Paul Dirac afirmou que a equação de Schrödinger é responsável por “grande parte da física e toda a química”. É provavelmente a equação mais importante do século XX. Seu efeito sobre o progresso tecnológico tem sido muito maior do que a mais famosa equação $E = mc^2$.

A equação de Schrödinger é uma equação diferencial de segunda ordem, a qual pode ser aplicada a um sistema como o átomo de hidrogênio, e assim, se calcular os níveis de energias correspondentes Schrödinger foi além de Broglie definindo uma equação que descrevia o comportamento ondular completo de uma partícula, em três dimensões. Os cálculos não apenas forneciam os resultados de Bohr para as energias das raias do espectro do hidrogênio, como pareciam explicar com grande precisão as propriedades dos átomos e moléculas em geral, e, conseqüentemente, abriu as portas para uma descrição matemática de sólidos, líquidos, semicondutores, e assim por diante (DUBSON, 2008b).

Foi justamente o sucesso das numerosas aplicações da mecânica quântica que acabaram justificando seus pressupostos básicos e estabelecendo sua validade científica, uma vez que as ideias de Schrödinger deixaram a comunidade científica bastante intrigada com relação a natureza da função de onda. Qual seria o significado físico de $\Psi(x, t)$? Devemos pensa-la como uma espécie de onda física ou eletromagnética?

Muitas foram as controvérsias em torno dessas e de outras questões que surgiram da análise das implicações da então chamada Mecânica Quântica. O alemão Max Born, no final de 1927 propôs que a função de onda podia ser interpretada como uma espécie de onda de informações. Ela fornece informações sobre a probabilidade dos resultados das medições, mas

não fornece qualquer imagem física de “o que realmente está acontecendo.” Bohr, Heisenberg e outros argumentaram que perguntas como “o que realmente está acontecendo” seriam sem sentido (DUBSON, 2008).

O ponto de vista de que a função de onda fornece informações probabilísticas e não uma imagem física da realidade, faz parte da chamada “interpretação de Copenhague” da Mecânica Quântica. Assim chamada por grande parte dela ter sido desenvolvido no Instituto de Física no qual de Bohr era diretor, em Copenhague. Físicos como Einstein, de Broglie e o próprio Schrödinger, entre outros, ficaram insatisfeitos com este ponto de vista e nunca aceitaram a interpretação de Copenhague (DUBSON, 2008b).

Desde então, de acordo como Tsapralis (2001) todo o esforço em pesquisa em física e química quântica reside na formulação de soluções aproximadas para a equação de Schrödinger, uma vez que soluções exatas não existem, exceto para alguns sistemas simples. Portanto, várias aproximações estão na moda uma vez ou outra, e as que são boas para hoje podem não o ser para amanhã. Uma coisa, porém, é certa: a equação Schrödinger ainda será válido e ainda será o ponto de partida para qualquer nova melhoria.

Dando prosseguimento aos trabalhos de aplicação da modelo quântico, na década de 1930, Linus Pauling desenvolveu a teoria quântica de ligações químicas, na qual os átomos são reunidos em moléculas por interações dos chamados orbitais atômicos e moleculares. Em 1932, James Chadwick introduziu o conceito de nêutrons, partículas subatômicas eletricamente neutras, que ajudaram a explicar a estabilidade dos prótons no núcleo do modelo atômico atual (DUBSON, 2008b). Pouco tempo depois a continuação dos estudos indicou que os prótons e nêutrons também eram formados a partir de partículas ainda mais fundamentais, *léptons* e *quarks*, que hoje são teorizadas pelo chamado Modelo Padrão de Física de Partículas (MOREIRA, 2009)

2.3. As lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos

Usar a história e filosofia da ciência para ensinar conceitos e atitudes científicas de forma mais consistente é uma estratégia recomendada por muitos pesquisadores da área de ensino (MATHEWS, 1994; TABER, 2010; NIAZ, M.; CARDELLINI, 2011). Matthews (1994), por exemplo, comenta que, ao contrário do que muitos professores de ciências imaginam, a filosofia não estaria tão distante em qualquer aula de ciências. Em um nível mais básico, qualquer texto ou discussão científica contém termos como lei, teoria, modelo, explicação, causa, verdade, conhecimento, hipótese, confirmação, observação, evidência e

idealização. Para Matthews (1994) a filosofia aparece quando alunos e professores param e refletem sobre os conceitos que estão lidando, indagando-se: o que tipo de coisas podem ser conhecidas? Como podemos entendê-las? Essas coisas realmente existem no mundo? Quais são relações possíveis entre elas?

Como um pouco de ajuda da história da ciência podemos notar que, diferente do que muitos pensam, as leis científicas são construções epistemológicas e não descrevem o comportamento dos corpos reais. Por exemplo, a lei de Galileu de queda livre, as leis de Newton, e as leis dos gases ideais, descrevem o comportamento de corpos ideais que são abstrações da evidência da experiência e as leis são verdadeiras apenas quando um número considerável de fatores perturbadores é eliminado (KRAGH, 2015).

Niaz e Cardellini (2011) argumentam que constatações como essas são instigantes ideias para fomentar o entendimento conceitual e não apenas regurgitação de detalhes experimentais. Curiosamente, a maioria dos educadores de ciência concordam que, dos vários aspectos da natureza da ciência (NdC), talvez um dos mais importantes é justamente a natureza experimental do conhecimento científico.

O átomo é um dos conceitos que possui potencial extraordinário para ilustrar e debater aspectos históricos epistemológico da ciência, já que passou por inúmeras mudanças na história da química, principalmente a percepção de que átomos eram divisíveis e tinham estrutura interna (THAGARD e TOOMBS, 2005).

Como vimos no capítulo anterior, a história da estrutura do átomo desde o final do século XIX e início do século XX mostra que os modelos de Thomson, Rutherford e Bohr evoluíram em rápida sucessão e tiveram que lidar com modelos competindo em programas de investigação rivais. Esse período da história da estrutura do átomo tem sido objeto de um amplo debate e controvérsia na história e filosofia da ciência literatura (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Agora, fazendo uma análise retrospectiva podemos notar que modelos científicos que acabaram prevalecendo, gradativamente, aumentaram em sua heurística e poder explicativo. Ou seja, o modelo de Rutherford proporcionou maior poder explicativo em comparação com o modelo de Thomson, o que não significa que o modelo atômico de Thomson estava completamente errado. Da mesma forma, o modelo de Bohr proporcionou maior poder explicativo em comparação com o modelo de Rutherford, o que, novamente, não significou que Rutherford estava completamente errado. Isto mostra precisamente a natureza experimental do conhecimento científico e sua importância foi reconhecida para a educação científica. Da mesma forma, atualmente, se a teoria da gravitação de Einstein for substituída

por uma versão da teoria das cordas, isso não significa que Einstein estava errado, mas que o seu âmbito de aplicação foi melhor definido (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Popper (2004) e Lakatos (1998) têm mostrado que, ao longo da História, toda teoria científica acaba sendo mais ou menos errada, e que o objetivo da busca da verdade é inalcançável, mas extremamente útil para o cientista. Esses mesmos autores usam a história da ciência para mostrar que o progresso científico não é se dá apenas com base em acumulação de dados experimentais, como pensavam os empiristas dos séculos XVIII e XIX, mas que é altamente dependente da imaginação criativa da comunidade científica e elaboração de argumentos racionais.

Na história dos modelos atômicos essa combinação de criatividade e argumentação pode ser ilustrada pela contribuição de Sommerfeld na proposição do modelo atômico de Bohr-Sommerfeld, que vale a pena discutir um pouco mais detidamente.

Como vimos, os modelos de Thompson e Rutherford representaram uma mudança surpreendente no conceito de átomo, uma vez que, os modelos desde Leucipo até Dalton eram, por definição, indivisíveis. Em terminologia filosófica, era uma verdade analítica *a priori* que os átomos eram indivisíveis, mas os experimentos de Rutherford refutaram a indivisibilidade atômica em favor da teoria nuclear (THAGARD e TOOMBS, 2005).

Bohr, por sua vez, de forma muito criativa, usou as ideias de Rutherford para explicar linhas espectrais, que, na época, já se sabia que estavam intimamente associadas a identidade dos elementos químicos. O espantoso sucesso de seu modelo em prever as energias das linhas espectrais do hidrogênio, foram tão promissoras que convenceram outros cientistas de renome da época a apostar no desenvolvimento dessas ideias, mesmo diante da incapacidade dela de prever corretamente as linhas espectrais dos demais elementos.

Arnold Sommerfeld propôs uma forma engenhosa de salvar a teoria de Bohr sugerindo que diferentes órbitas dos elétrons em torno do núcleo poderiam elípticas ou circulares. Com isso, explicou as diferenças na estabilidade dos níveis, com o mesmo número quântico principal, n , em termos da capacidade das órbitas altamente elípticas trazerem o elétron para mais próximo do núcleo, proporcionando uma estabilidade teórica e um poder de previsão das energias das linhas espectrais bem maior do que o modelo de Bohr (Figura 1).

Ainda assim o modelo de Bohr-Sommerfeld era limitado, pois não podia explicar muitas linhas espectrais observadas e fazia previsões de linhas que nunca apareceram. Para cada sucesso do modelo, havia uma falha ou anomalia. Foi então que algumas dessas dificuldades foram resolvidas pelo Princípio de Exclusão de Pauli, que não só representou uma solução para as lacunas existentes, quanto reformulou a teoria do sistema periódico de

elementos e antecipou fatos então desconhecidos, colocando modelo de Bohr-Sommerfeld numa base mais sólida (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Essas engenhosas ideias de Sommerfeld e Pauli para “salvar” o modelo de Bohr, ilustram muito bem natureza tentativa de modelos científicos. Infelizmente, muito poucos livros didáticos de química geral mencionam o modelo de Bohr-Sommerfeld, muito menos se referem à natureza tentativa de modelos.

Epistemologicamente as ideias de Sommerfeld e Pauli são o que Lakatos (1998) chama de hipóteses auxiliares, de grande importância na filosofia da ciência. Para Lakatos, ao contrário do que refutacionistas ingênuos imaginam, o aparecimento de evidência empírica contrária às previsões de uma teoria não refuta imediatamente uma teoria. Pelo contrário, os cientistas tentam introduzir hipóteses auxiliares, a fim de proteger o “núcleo duro” das suas formulações teóricas.

Neste contexto, o princípio de exclusão de Pauli foi uma tentativa de evitar a refutação do modelo de Bohr-Sommerfeld do átomo. O papel das hipóteses auxiliares foi também reconhecido por Popper (2004), desde que sirvam para aumentar o grau de falsificabilidade da teoria. Isto contrasta com as apresentações de livros didáticos, que geralmente argumentam que as evidências empíricas podem inequivocamente refutar uma teoria.

O princípio de exclusão de Pauli foi uma hipótese auxiliar para “proteger” o modelo de Bohr-Sommerfeld, da mesma forma que as órbitas elípticas de Sommerfeld também desempenharam um papel semelhante ao evitar a refutação completa do modelo de Bohr. Isso mostra mais uma vez que os cientistas, às vezes, ignoram certos dados que refutam as teorias que estão trabalhando, como também tentam apresentar novas hipóteses (ou seja, hipóteses auxiliares) para proteger uma teoria com algum potencial explicativo (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

A combinação de dados empíricos espectrais e argumentação lógica-matemática típicas dos modelos de Bohr, Sommerfeld, Pauli e outros pesquisadores do início do século XX, abriram caminho para a produção de hipóteses ainda mais contra intuitivas, tais como a teoria quântica e seus desdobramentos. Que, desde então, tem sido foco de intensos debates epistemológicos que, portanto, também merece um pouco de reflexão.

Os seres humanos vivem no nível macroscópico, razoavelmente descrito pela mecânica clássica, e nossos cérebros evoluíram para descrever corretamente fenômenos macroscópicos (clássicos). Quando perguntamos “o que está acontecendo?”, estamos na verdade pedindo uma explicação em termos que nosso cérebro pode processar, ou seja, uma explicação clássica. A mecânica quântica mostra um mundo microscópico fundamentalmente

diferente do mundo clássico de grandes objetos aos quais estamos habituados a observar, por isso modelos internos de nossos cérebros simplesmente não se aplicam ao nível dos átomos. Segundo Dubson (2008) não pode haver nenhuma esperança de entender “o que realmente está acontecendo” nos átomos porque os nossos cérebros não são construídos para esse trabalho. Tudo o que podemos saber são os resultados de medições feitas com instrumentos macroscópicos.

Isso nos parece paradoxal. Por que as coisas são tão diferentes se pertencem a mesma realidade física? Autores como Dubson (2008), Taber (2010) e Kragh (2015), defendem que esse paradoxo ocorre justamente porque as leis científicas de fato não são absolutamente reais, embora, possam explicar de maneira lógica e útil a realidade que percebemos.

Isso pode ser observado em um exame rápido nas principais teorias científicas clássicas. A segunda a Lei de Newton, por exemplo, apesar de sua utilidade e coerência, tem um regime de validade limitado. Se você considerar objetos em velocidade muito alta (próxima a velocidade da luz) ou muito pequenos (microscópico, atômico), esta “lei” fará previsões que não podem ser empiricamente observadas. No entanto, dentro de seu regime de validade, essa e outras leis da mecânica clássica, são apropriadamente corretas. Funcionam tão bem que podemos usá-las para prever o tempo de um eclipse solar com centenas de ano de antecedência. Podemos enviar uma sonda a Plutão e vê-la chegar bem no alvo, no horário previsto, oito anos após o lançamento. Desse modo para Dubson (2008) a mecânica clássica não é errada; é apenas incompleta.

O caráter convencional das teorias científicas é facilmente identificado quando as submetemos a uma análise meticulosa. A mecânica clássica não-relativística, por exemplo, se baseia em um conjunto de proposições chamados axiomas, postulados ou leis. Leis ou postulados são declarações que são apresentados sem provas. Não podem ser provadas. Acreditamos que elas sejam verdadeiras, porque suas previsões são verificadas experimentalmente. $F = m.a$, por exemplo, é um postulado. Não pode ser comprovado a partir de relações mais fundamentais (KRAGH, 2015).

O modelo atômico, atual baseado na mecânica quântica, também contém esse tipo de elemento argumentativo. O uso de postulados mecânica quântica foi uma nova (e aparentemente necessária) maneira de prever o comportamento de objetos microscópicos. Mesmo que muitos deles sejam altamente contra-intuitivos, tal como: (i) muitos aspectos do mundo são essencialmente probabilísticos, não determinísticos e (ii) alguns aspectos do mundo são essencialmente descontínuos (DUBSON, 2008)

Como vimos, na mecânica quântica o estado de um sistema físico é completamente descrito por um objeto matemático complexo, chamado de função de onda Ψ (*psi*). A qualquer momento, a função de onda $\Psi(x)$ assume um valor único, contínuo e normalizado. O resultado dos cálculos não prevê a localização exata da partícula, em vez disso, fornece a probabilidade de que certa posição da medida energia a ser detectada. Ou seja, enquanto na mecânica clássica, a partícula tem sempre uma posição precisa, definida – mesmo que você não se preocupe em medir a sua posição – na mecânica quântica, a partícula não tem uma posição definida, até você medi-la.

Em contraste com a mecânica clássica, a equação de onda não descreve a dinâmica da partícula (como ela se movimenta, ou mais simplesmente, “o que ela faz”). Com essas soluções podemos somente fazer previsões probabilísticas sobre a ocorrência de um dado evento e determinar médias das variáveis associadas às quantidades físicas de interesse. A conexão da teoria com o mundo atômico e molecular se faz através de diferenças de energia entre os estados de um sistema; essas diferenças de energia podem ser associadas às linhas ou bandas nos diferentes tipos de espectros, ou determinadas como entalpias no caso de reações (HERMOSO e ORNELLAS, 2009).

O sucesso das aplicações acabou tornando a Mecânica Quântica em uma teoria fundamentalmente probabilística. Esta indeterminação foi profundamente perturbadora para alguns cientistas que se ocuparam em analisá-la. De acordo como Dubson (2008) Einstein e o próprio Schrödinger nunca ficaram satisfeitos com o postulado. Einstein, particularmente, nunca aceitou a mecânica quântica como uma teoria completa. Acreditava que, mesmo que as previsões da mecânica quântica estivessem corretas, a função de onda não continha todas as informações que descrever um estado físico. Para Einstein devia haver “variáveis ocultas”, para além da função de onda, que, quando descobertas, tal como na mecânica clássica e relativística, permitiriam o cálculo exato, determinista do resultado de qualquer medida.

Mesmo com todas essas controvérsias ainda sem solução definitiva, o conhecimento de Química Quântica é hoje um componente fundamental na formação dos estudantes de Química, pois a compreensão contemporânea de fenômenos químicos e físicos sob uma óptica microscópica requer necessariamente uma abordagem quântica. (HERMOSO e ORNELLAS, 2009).

O modelo quântico avançou tanto que a modelagem computacional permite até mesmo tornar os átomos “observáveis”, em um sentido mais amplo, quando imagens deles podem ser obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Embora, na verdade, as imagens que vemos na tela do computador sejam resultados dos cálculos das equações quânticas usadas para

interpretar dados coletados por instrumentos que, por sua vez, também supõem outras teorias científicas. Ou seja, o que estamos vendo ainda é os resultados de um conjunto de convenções científicas úteis, não de uma realidade absoluta (OKI, 2009).

Mas se teorias científicas não são, em última análise reais, o que são afinal? Thagard e Toombs (2005) defendem que entidades como átomos, buracos negros, e genes, devem ser tratados exclusivamente como *entidades teóricas* e conceitos que se referem a eles como *conceitos teóricos*. Uma parte crucial da pesquisa científica envolve a produção e aperfeiçoamento de tais conceitos, que classificam objetos não-observáveis. Nesse caso, a categorização, seria mais que o ato de dividir as coisas do mundo com base em características observadas nelas. Incluiria a criação de explicações profundas de como o mundo parece por meio de hipóteses sobre propriedades de entidades não observáveis. E isso não é recente, os gregos antigos, por exemplo, como vimos, formularam o conceito de partículas elementares chamadas átomos para fim de explicar muitos fatos sobre o mundo natural.

O desenvolvimento do conceito de átomo implicou na produção e aperfeiçoamento dos conceitos tais como molécula e elemento, hoje, como defendem Thagard e Toombs (2005), podemos dizer que:

1. São conceitos cruciais para categorizar o mundo;
2. São hipóteses úteis, ao invés de categorias geradas por observação direta (tais como cães, gatos etc.);
3. São permanentemente passíveis de revisão;
5. Os conceitos de átomo, molécula e elemento estão teoricamente entrelaçados: mudam em conjunto com a respectiva teoria da matéria do qual fazem parte.
4. Mudanças conceituais no significado de átomos, moléculas ou elementos resultam em uma alteração significativa na teoria como um todo;
6. O significado desses conceitos é uma função tanto as relações entre eles quanto das relações indiretas com mundo, através de experimentos.
7. A educação científica e, possivelmente, também a psicologia do desenvolvimento, devem estar atentos à complexidade da mudança conceitual dessas e outras entidades teóricas.

Diante dessas constatações Thagard e Toombs (2005) defendem que natureza da estrutura do conceito do átomo pode ser melhor explicada pela chamada abordagem de conhecimento, de acordo com a qual, os conceitos são parte de nosso conhecimento geral do mundo, e são aprendidas como parte da nossa compreensão global do mesmo. Nessa visão, os conceitos não são apenas uma questão de exemplos ou de características típicas observadas, mas também têm um papel explicativo crucial. Por exemplo, o conceito de cão, inclui características que explicam por que e como os cães se comportam e o que eles fazem.

Thagard e Toombs (2005) argumentam que a maioria das teorias científicas são representações mentais de mecanismos que fornecem explicações. As representações podem

ser pictóricas ou verbais. A imagem do átomo núcleo de prótons rodeados por elétrons é uma parte tão importante da teoria nuclear quanto sua descrição verbal ou matemática. Os mecanismos são sistemas de conceitos ligados uns aos outros de maneira a produzir mudanças regulares. Com isso declarações sobre um evento consistem em descrever um mecanismo, de tal maneira que o evento é produzido pelas interações das partes desse mecanismo. Essa herança devemos aos gregos antigos, que ao invés de depender de explicações teológicas ou teleológicas, perceberam a possibilidade de construir analogias entre as máquinas construídas por seres humanos – como alavancas e rodas – e fenômenos naturais, tais como o movimento dos objetos. Para Thagard e Toombs (2005) todas as explicações produzidas ao longo dos vários estágios de evolução das teorias atômicas são mecanicistas desta forma.

As teorias atômicas gregas davam diferente significado ao conceito de átomo relacionando-o a outros conceitos, tais como forma, movimento, divisibilidade, e depois – com os cientistas do século XIX e XX, próton e elétron. Mais na ciência, não basta a coerência lógica relações entre os diversos conceitos de uma teoria, é necessário haver uma relação com o mundo percebido por nós, direta ou indiretamente.

Como vimos em capítulos anteriores, alguns pesquisadores da área de ensino de ciências têm relatado problemas que tanto crianças quanto alunos mais velhos em compreender e usar adequadamente o moderno conceito científico de átomo.

Estudos sobre aprendizagem de modelos atômicos como os de Griffiths e Preston (1992) e Harrison Treagust (2001), argumentam que considerando que foram necessários mais de dois milênios para a teoria atômica evoluir, não surpreende que os alunos sintam dificuldades em compreender significativamente conceitos importantes como átomo, molécula e elemento. No entanto, a aquisição desses conceitos é uma parte essencial para alcançar a capacidade de explicar cientificamente o Mundo e os seus constituintes.

Por isso, muitos educadores de ciência, tais como Tsaparlis (2001), Taber (2010) e Niaz e Cardellini (2011), argumentam que para adquirir conceitos científicos, os alunos devem ter a oportunidade de discutir esses conceitos e suas aplicações durante um período relativamente prolongado de tempo já que aprendizagem é um processo evolutivo que não ocorre da mesma forma entre todos os alunos. Além disso, a instrução deve incluir debates entre modelos e métodos alternativos. Tsaparlis (2001) defende que abordagem histórica, juntamente com a variedade de apresentações atuais para a mecânica quântica, que representa a abordagem mais contemporânea sobre o átomo, poderia servir como objetivo de aprendizagens significativas. Mas, para isso parece imprescindível, como vimos, incluir a apresentação e discussão de argumentos históricos-epistemológicos.

2.4. Afinal, o átomo existe?

Essa é uma pergunta que está intimamente relacionada a pergunta epistemológica mais abrangente “O que existe?”. O conceito de existência, ou o aspecto ontológico das coisas – como alguns filósofos denominam – ainda é uma questão sem resposta definitiva, objeto de controvérsia filosóficas muito interessantes (OKASHA, 2007).

Mesmo que não que possamos responder a essa pergunta, podemos fazer (e inconscientemente fazemos) escolhas de como encarar o mundo. Se tratarmos de questões do senso comum, certamente não teremos problemas em adotar uma perspectiva realista das coisas. Mas quando tratarmos de conhecimentos científicos essa perspectiva certamente não será muito apropriada.

Depois de tudo que foi discutido nos tópicos anteriores, parece-nos muito oportuno, racional e filosoficamente apropriado adotar uma perspectiva instrumentalista (ou convencionalista) de conhecimento científico defendida por Taber (2010) e Kragh (2015).

Segundo Taber (2010), o valor da adoção de uma perspectiva instrumentalista no ensino de Química está na possibilidade de ensiná-la como um conjunto de modelos de diversos níveis de sofisticação e com diferentes intervalos de aplicação. Embora isso certamente não seja uma solução imediata para as muitas dificuldades de aprendizagem que os alunos possuem sobre o assunto.

Os alunos tendem a ser realistas sobre a ciência e são susceptíveis de nos perguntar qual o modelo é realmente a verdadeira representação da realidade. A questão se essa atitude realista é um subproduto da maneira como falamos de ciência em sala de aula pode até ser um interessante objeto para futuras investigações. Mas certamente, evitar falar de átomo, moléculas, orbitais hibridizados, estruturas de ressonância etc. como se estivéssemos falando de entidades “reais” tornaria nossa linguagem um tanto quanto desajeitada. Imaginem se ao invés de falar de átomos como “bolas de bilhar”, usássemos “as regularidades percebidas na minha experiência do mundo que interpreto como uma classe de objetos que me parece ter propriedades suficientemente semelhantes e regulares para justificar a atribuição provisórias semelhantes categorias de bolas de bilhar”! Seria uma maneira tão complicada de se comunicar que seria inútil para diminuir as dificuldades de compreensão de experiências e teorias nas aulas de química.

No entanto, como já foi mencionado, é cada vez mais claro que a educação científica deve envolver aprendizagem sobre a ciência, ou seja, a natureza da ciência, bem como aprender alguma ciência. Alfabetização científica para uma democracia tecnológica moderna

significa a compreensão da forma como a ciência funciona. Isso envolve a apreciar tanto o carácter provisório da ciência, como a consciência de que diferentes cientistas podem discordar racionalmente sem desacreditar a ciência, e ainda sustentar a crença que ciência oferece conhecimento confiável que justifica a nossa confiança, pois fornece uma maneira de entender o mundo que têm sido amplamente corroboradas. Para isso, os alunos precisam entender que as teorias não são fatos definitivamente comprovados, e os modelos não são réplicas em escala.

A Química, particularmente, oferece o assunto ideal para ensinar os jovens sobre a variedade, a natureza e papel de modelos: sobre o seu valor como ferramentas de pensamento, mas também sobre como eles só permitem inferências dentro de certos limites de aplicação.

O exemplo de modelos submicroscópicos de matéria, oferece um contexto para o desenvolvimento dessas ideias; assim, por exemplo, em vez de ensinar os alunos que as partículas são esferas rígidas pequenas, ou que os átomos têm camadas de elétrons, devemos ensinar-lhes que os cientistas desenvolveram esses modelos como formas de dar sentido a uma série de propriedades físicas e químicas, e continuaram a usar esses modelos onde até onde serviam de bons guias para prever o comportamento do material. A medida que foram identificadas as limitações, esses modelos foram sendo substituídos ou reservados a problemas mais simples, desde que possam ser considerados casos particulares incompletos das teorias mais sofisticadas. Desta forma, um modelo “orbital” do átomo pode ser entendido pelos alunos como um modelo mais sofisticado necessário para completar o modelo de “camadas” para algumas finalidades: contornar problemas que surgiram com a descoberta de novos fatos, desenvolvimento de novos instrumentos ou mesmo da combinação de elementos teóricos anteriormente não imaginados.

Ao introduzir os tipos de ligação química, é possível ilustrar as limitações da dicotomia covalente-iônico desse modelo de ligação, comparando-o tal tarefa a de classificação em contexto mais familiar, tal como a de esportes olímpicos (TABER, 2010), uma vez que a tentativa de classificar os atletas em certas categorias se revela imperfeita. Atletas do pentatlo e decatlo compartilham características comuns a ambas as categorias (semelhante a ligações polares). Nadadores e ginastas são excelentes atletas, mas, como ligações metálicas, não se encaixam em nenhuma das categorias do atletismo não seriam adequadamente descritos pelo modelo dicotômico simples. O modelo de ligação covalente-iônico muitas vezes pode ser um esquema de classificação útil, a analogia com a categorização de atletas para pode fazer alunos compreenderem de forma mais clara que se trata de uma ferramenta útil, embora possua uma gama limitada de aplicação.

Através de abordagens de ensino como essa, a confusão de modelo em química pode ser substituída por uma apreciação de que a aprendizagem muitas vezes envolve o domínio de uma sequência de modelos, que oferecem um poder explicativo cada vez mais desafiador do ponto de vista de sua abrangência de aplicação.

Segundo Taber (2010), compreender a química desta forma permite que os alunos apreciem como modelos históricos, agora desacreditados, podem ser considerados úteis para o desenvolvimento do conhecimento atual. Saber como os modelos progrediram podem contribuir mais significativamente para a sua própria aprendizagem de novas formas de pensar. Além de tudo isso, tomar consciência desse percurso histórico também poderá ensinar-lhes algo da emoção do desafio intelectual de construção, teste e desenvolvimento de modelos em química e outras ciências. Para Taber (2010) uma abordagem instrumentista ao ensino e aprendizagem pode ser tanto pedagogicamente adequada quanto filosoficamente consistente com abordagens construtivistas da educação em Química, pois “o instrumentalismo considera os produtos da ciência (teorias, modelos, leis, etc.) não como verdadeiras descrições do mundo, mas como ferramentas úteis para dar sentido, prever e controlar o mundo” e, para este autor, verificar se esses produtos são descrições verdadeiras da realidade fica em segundo plano, uma vez que esses modelos continuam sendo usados como bons guias para prever o comportamento da matéria.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Por se tratar de uma pesquisa de natureza aplicada, que necessariamente deveria implicar na elaboração e avaliação um produto didático, foi realizada em duas fases. A primeira se ocupou da sondagem e análise de possíveis concepções alternativas sobre diversos aspectos relacionados aos diferentes modelos atômicos propostos no âmbito científico. A segunda fase da pesquisa se ocupou da elaboração e avaliação de um texto didático que pudesse mitigar eventuais problemas de aprendizagem detectados na primeira fase da pesquisa e na literatura sobre o tema. A seguir descreveremos alguns pormenores metodológicos que nortearam a execução de ambas as fases.

3.1. Fase 1: Coleta e análise de concepções alternativas sobre modelos atômicos

Para sondar concepções alternativas de estudantes, optamos por realizar um minicurso para estudantes universitários de química. A ideia foi pôr em prática uma unidade didática (UD) cujas atividades pudessem ajudar a explicitar possíveis concepções alternativas dos participantes sobre os modelos atômicos.

Então o minicurso “Alternativas para ensino de modelos atômicos” foi proposto como atividade para um evento regional, que acontece anualmente durante o mês de junho: a Semana do Químico 2015, voltado para estudantes e profissionais da área e realizado pela Associação Brasileira de Química - Regional Pará (ABQ/PA). O minicurso teve duração de 4 horas sendo dividido em dois encontros de 2 horas, contando com a participação de 28 (vinte e oito) pessoas no primeiro dia e 23 (vinte e três) no segundo dia, sujeitos dessa fase da pesquisa.

Naturalmente, antes do início de cada fase de aplicação das atividades do minicurso, os participantes foram informados da realização da pesquisa e lhes foi solicitado autorização por meio da assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Foram realizadas no minicurso seis atividades que compõe a unidade didática que construímos. As atividades 1, 2 e 3 da UD (Apêndices 1 a 3) foram realizadas no primeiro dia e as atividades 4, 5 e 6 (Apêndice4) no segundo dia. Durante a realização do curso as dúvidas e comentários dos sujeitos foram registradas por meio de produções escritas e desenhos dos próprios participantes e por meio de áudio gravações de seus respectivos comentários.

Para preservar a identidade dos sujeitos utilizamos nomes fictícios para identificar as respectivas falas e produções escritas, as quais foram submetidas a análise de conteúdo (BARDIN, 2004) e análise de evocações semiestruturadas (BRABO e GOMES, 2013).

Adotamos uma perspectiva qualitativa de coleta e análise de dados, considerando que nosso foco está na compreensão dos processos de ensino e aprendizagem dentro de um contexto específico. Segundo Bogdan e Biklen (1994), esta tendência de pesquisa possui cinco características básicas, sendo correspondente em vários aspectos com a pesquisa que realizamos: acontece em ambiente natural e o pesquisador desempenha papel fundamental na investigação, dados predominantemente descritivos, a preocupação com o processo do estudo foi muito maior do que com o produto, o significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador e tende a seguir um processo indutivo de análise dos dados.

Também é importante salientar que a elaboração das atividades da oficina realizada nessa primeira fase, baseou-se em cinco recomendações que compõe o modelo de planejamento de atividades para o ensino das ciências experimentais propostas por Sanches e Valcarcel (1993), que foca especificamente no planejamento de Unidades Didáticas (UD) para o ensino de ciências experimentais para professores.

Nessa proposta, os autores dedicam um momento do planejamento da UD para a atualização da formação científica do professor, onde ele deve parar e avaliar o conteúdo de ensino dentro de uma perspectiva científica, contudo para fins didáticos. O professor deve refletir as questões sobre a História e Filosofia da Ciência (HFC) para selecionar os conteúdos de aprendizagem. Pois tal como Martins (2007) acreditamos que:

[...] a HFC surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para: evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o processo de ensino-aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula. (MARTINS, 2007, p.115)

Acreditamos que a introdução de elementos de HFC seja a principal contribuição dessa proposta para a realização do nosso trabalho. E esta fase do planejamento coloca o professor em uma posição de sujeito da sua prática, profissional crítico e, sobretudo, de agente social.

No projeto para planejamento de Unidades Didáticas, Sanches e Valcarcel (1993) indicam 5 ações que o professor deve seguir para elaborar uma UD: análise científica, análise didática, seleção de objetivos, seleção de estratégias didáticas e seleção de estratégias de avaliação.

Na análise científica, o professor seleciona os conteúdos de ensino que serão trabalhados, organizando em uma estrutura que determine os conteúdos conceitual, procedimental e atitudinal subjacentes. É importante que cada um fique elucidado para o

professor, pois é uma tendência entre os professores ater-se mais ao ensino de conteúdo conceitual (leis, teorias, princípios) do que aos outros dois. *“No podemos olvidar que el conocimiento científico es único y las estrategias de aprendizaje que adoptemos deben integrar los tres contenidos”* (SANCHES e VALCARCEL, 1993, p.37).

Neste momento o professor também deve procurar a sua atualização científica, uma vez que o ensino do conhecimento científico deve seguir a visão da natureza da ciência.

La importancia del marco teórico en la construcción de la ciencia y el hecho de que sea un conocimiento estructurado sujeto a ampliaciones y modificaciones lo destacamos no sólo por las implicaciones que deberemos considerar para la enseñanza de las Ciencias, sino por ser el que fundamenta el procedimiento que proponemos para el análisis científico. (SANCHES e VALCARCEL, 1993, p.37).

Na análise didática, o professor agora volta o seu olhar para o processo de Ensino e Aprendizagem E/A, e possui dois objetivos principais: o conhecimento das ideias prévias dos estudantes e o conhecimento das exigências para a aprendizagem.

O professor deve conhecer os aspectos que influenciam na aprendizagem dos alunos, as limitações e as dificuldades que podem surgir ao longo do processo. Para os autores, esses aspectos são complementares, ou seja, para que o professor possa delimitar os condicionantes do processo de E/A, deve fazê-lo a partir do conhecimento que seus alunos possuem, para que ele tenha mais indicativos de como deve atuar.

[...] la importancia de conocer las ideas de los alumnos no radica sólo en detectar errores sino, y con el mismo interés, también sus aciertos, pues ambos tienen la misma relevancia en la estructura cognitiva del alumno y ambos serán las herramientas conceptuales que utilice para hacer inteligible la nueva información que incorporemos en el proceso de enseñanza (SANCHES e VALCARCEL, 1993, p.38)

Os autores consideram importante que as análises científica e didática aconteçam antes da seleção dos objetivos, para que as informações levantadas nas etapas anteriores orientem a elaboração dos mesmos. Assim, na fase de seleção dos objetivos, o professor tem condições de indicar o potencial de aprendizagem dos alunos e pode estabelecer objetivos concretos a serem alcançados, considerando o nível educacional dos alunos e os conteúdos já delimitados. Além disso, o professor constrói parâmetros para a avaliação.

A seleção das estratégias didáticas é o momento que o professor escolhe as atividades que irão constituir a UD. Deve-se considerar três elementos: abordagem metodológica, sequência de ensino e materiais de aprendizagem.

A abordagem metodológica define uma corrente pedagógica para a UD. Nessa ocasião, o professor deve ser coerente com a perspectiva de trabalho que deseja assumir, uma vez que no exercício de seu trabalho, o professor transmite suas concepções individuais sobre

esse processo e sobre a própria ciência. Os autores defendem que uma abordagem construtivista seja bastante favorável para o ensino e aprendizagem.

A sequência de ensino são as atividades que serão desenvolvidas para que os objetivos sejam alcançados, ou seja, atividades que possibilitem a aprendizagem dos conteúdos elencados e contornem as dificuldades e limitações de aprendizagem dos alunos. É interessante, que o professor tenha estruturadas as atividades de ensino que pretende trabalhar, incluindo o seu desenvolvimento e potencial de uso. Cada atividade tem objetivos e características que as diferenciam, contudo todas devem contribuir para o objetivo geral da UD e devem refletir a abordagem metodológica adotada. E por fim, os materiais de aprendizagem são os instrumentos que poderão ser utilizados pelo professor e/ou alunos no decorrer do desenvolvimento da UD.

A última ação é a seleção de estratégias de avaliação. Embora nas etapas do processo de construção da UD a avaliação esteja como a última ação, no seu desenvolvimento a avaliação pode acontecer em vários momentos, não apenas no final como uma avaliação pontual e classificatória. Pois, assim como as atividades de ensino, a avaliação também deve conversar com a abordagem metodológica do professor. Na perspectiva construtivista, a avaliação deve ser de modo formativo, para contribuir com o processo de E/A.

[...] la concepción constructivista, el profesor al valorar una situación, un hecho, un concepto o una experiencia, debe hacerlo de manera compartida con el alumno, mostrándole la utilidad que dicha valoración puede tener para el futuro o en sí misma, con objeto de que la evaluación sea realmente formativa. Lo contrario, es decir, hacerlo de manera unilateral y concluyente por parte del profesor es reforzar la idea de la evaluación como un proceso exclusivo de control (SANCHES e VALCARCEL, 1993, p.42).

De modo geral, as tarefas apontadas para o planejamento de uma Unidade Didática para o ensino de ciências pode ajudar o professor no seu trabalho docente, uma vez que a partir daí ele terá referências para assumir também um papel de ensino e pesquisa na sua sala de aula. Contudo, é necessário que o professor tenha consciência que o seu projeto, mesmo depois de construído e mesmo seguindo todas as fases, não estará isento de modificações e adaptações, pois assumindo uma postura construtivista, deve reconhecer que o processo de ensino-aprendizagem exige flexibilidade para que aconteça de forma mais consistente e coerente com o contexto educacional que ele está inserido.

3.2. Fase 2: Elaboração e avaliação do texto didático

Como já foi mencionado, os resultados das análises da primeira fase da pesquisa serviram de base para elaboração de um texto didático, que pudesse ser utilizado em cursos de formação de professores de química, que se caracteriza como o produto desta pesquisa.

Com base nos resultados da amostra investigada na primeira fase da pesquisa e em sugestões disponíveis na literatura sobre concepções alternativas de modelos atômicos, optou-se em elaborar um texto que apresentasse, de forma um pouco mais aprofundada, aspectos históricos e epistemológicos relacionados ao tema, dando um panorama geral da evolução dos modelos atômicos ao longo da História. Algumas atividades utilizadas para coletar dados durante a primeira fase desta pesquisa, também foram incluídas como sugestões de atividades no texto didático produzido.

Para avaliar a qualidade do texto elaborado, reproduzimos o material em forma de um livreto (Apêndice 7, pág. 82) e distribuímos em uma turma do último semestre do curso de licenciatura em química da Universidade Federal do Pará.

Nessa fase, 26 (vinte e seis) estudantes de química receberam os livros e responderam o pré-teste (Apêndice 5). Na ocasião, solicitou-se que lessem o livro e, uma semana, comparecessem em um local e horário previamente marcado para responder ao pós-teste. Para estimular a participação de um maior número de voluntários foi dito aqueles que respondessem o pós-teste concorreriam no sorteio de um livro de química.

Apenas 3 (três) dos 26 (vinte e seis) estudantes compareceram para responder ao pós-teste. Os dados coletados na segunda fase também foram submetidos à análise de conteúdo (BARDIN, 2004) e os dados dos três sujeitos que responderam ao pré e pós-teste também foram analisados por meio de composição de mapa conceitual onde são contrastadas as evocações que ocorreram antes e depois da leitura do texto proposto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. 1ª etapa da pesquisa: realização do minicurso

Desenvolvemos seis atividades que serão descritas e discutidas a seguir. Optamos por analisar os dados destacando aspectos peculiares dos discursos, textos e desenhos e discutindo de acordo com as pesquisas sobre aprendizagem de modelos atômicos apresentado nos capítulos anteriores, procurando explicitar semelhanças e diferenças em relação aos achados dessas pesquisas.

4.1.1. Atividade 1

As atividades 1 e 6 são semelhantes, pois correspondem à resposta a um questionário (Apêndice 1, pág. 76) constituído de um teste de evocações e perguntas abertas que foi respondido pelos sujeitos no início e no final do curso. A seguir temos as considerações sobre a aplicação realizada no início do minicurso.

O questionário utilizado possui questões gerais sobre os modelos atômicos a fim de investigar as concepções prévias dos sujeitos. As respostas às perguntas do questionário apresentaram aspectos semelhantes, ou seja, não havia uma variedade nas respostas, algumas apresentavam características muito similares entre si, como respostas prontas e definidas, que provavelmente são comumente difundidas nos meios sociais, escolares e de comunicação.

Na primeira pergunta do questionário, a qual investigava a compreensão sobre o átomo, alguns afirmavam que o átomo é a menor parte que compõe a matéria e/ou descreviam sua estrutura destacando as subpartículas. Contudo todos os sujeitos relacionaram o átomo à composição da matéria (realismo ingênuo).

Na segunda pergunta, que verificava a possibilidade de separar os elétrons dos átomos, os sujeitos responderam sim, considerando as interações entre os átomos, como as ligações e reações químicas; e não, justificando a força de atração dos elétrons pelo núcleo que não permite a saída de elétrons.

A terceira pergunta questionava sobre a possibilidade de ver o átomo e como seria sua estrutura. As respostas ficaram equilibradas entre sim e não. Os sujeitos que responderam sim acreditam que seja possível vê-lo com ajuda de tecnologia, inclusive, muitos citaram o microscópio. E alguns que responderam que não é possível vê-lo, dizem que as teorias atômicas podem prever sua estrutura e que podemos apenas imaginá-lo.

A quarta e última pergunta do questionário referia-se sobre a existência do átomo em si, perguntando diretamente se ele existe e como poderíamos provar. Com exceção de apenas um sujeito, que afirmou que não há como provar sua existência, todos responderam que o átomo existe de fato.

Na maioria dos casos, foi possível fazer aproximações das respostas dadas com os modelos atômicos existentes, contudo isso acontecia de forma aleatória e confusa, pois não havia uma coerência de pensamento, por exemplo nas falas mostradas na Figuras 2, onde os sujeitos apresentam uma concepção de que o átomo é a menor parte da matéria ao mesmo tempo que afirmam que eles possuem subpartículas que são menores e estão distribuídas em sua estrutura.

1. O que você entende por átomo?	<p>ENTENDO QUE O ÁTOMO É A MENOR PARTÍCULA EXISTENTE DIVISÍVEL E TEM</p> <p>UMA UM NÚCLEO ONDE HÁ CARGAS POSITIVAS E NEGATIVAS QUE INFLUENCIAM EM SEU COMPORTAMENTO.</p>
2. É possível separar os elétrons dos átomos? De que forma? Por quê?	<p>ACHO QUE NÃO</p>
3. É possível ver o átomo? Como ele seria?	<p>ACREDITO QUE SIM, POR MEIO DE MICROSCÓPIO. ACHO QUE SERIA NO FORMATO DE UMA BOXA, MAS LARGO SEM PEQUENA.</p>
4. O átomo de fato existe? De que forma poderíamos provar sua existência?	<p>SIM. POR MEIO DE ESTUDOS E IMAGENS.</p>

Figura 2. Resposta de CARLA ao questionário inicial

Essas ideias são de certo modo contraditórias, uma vez que para considerar o átomo como menor partícula da matéria não poderiam existir partículas menores que ele. Contudo para os estudantes essas duas ideias podem conviver juntas, constituindo uma concepção alternativa que seria híbrida de modelos atômicos existentes. Nesse caso, podemos identificar o modelo de Dalton e Rutherford.

Em outros casos, isso pode ser visto nas respostas às perguntas diferentes, como mostrado na Figura 3, onde os sujeitos consideram duas ideias conflitantes, uma vez que correspondem a modelos atômicos diferentes.

1. O que você entende por átomo?	Como sendo a menor partícula constituindo a matéria, chegando ao ponto de não conseguir se dividir.
2. É possível separar os elétrons dos átomos? De que forma? Por quê?	Sim. Através de ligações. Por que cada elemento se junta com outro e também havendo transparência ou compartilhamento de elétrons.
3. É possível ver o átomo? Como ele seria?	Sim. Seria no seu centro comperado como o ponto central de um estádio, e sua eletrosfera seria a arquibancada.
4. O átomo de fato existe? De que forma poderíamos provar sua existência?	Sim. A partir de pesquisas e recursos tecnológicos capazes de conseguir visualizar o átomo em si.

Figura 3. Resposta de PEDRO ao questionário inicial

Como apontado por Taber (2003), percebemos que os sujeitos apresentam concepções alternativas sobre os modelos atômicos que muitas vezes trazem elementos de mais de um modelo atômico existente... em geral os estudantes constroem modelos mentais que carregam características dos modelos científicos sobre o átomo.

Foi possível perceber também que os sujeitos possuem mais conhecimentos sobre os modelos atômicos mais antigos e não conhecem as propostas dos modelos atômicos mais atuais, não demonstrando afinidade com os modelos quânticos, uma vez que em seus modelos mentais são mais predominantes as características dos modelos de Dalton, Rutherford e Bohr.

Avaliando a primeira atividade, percebemos que as ideias prévias dos sujeitos emergiram das perguntas elaboradas e que a aplicação do questionário se faz necessária, pois a partir dessas ideias surgiram alguns questionamentos que poderiam ser levantados em momentos de discussões ao longo das próximas atividades. Entretanto, as ideias apresentadas nesta atividade não foram exploradas como poderiam, mesmo esta atividade tendo como objetivo conhecer as ideias dos sujeitos para orientar as atividades seguintes, ultrapassamos

essa etapa por conta da limitação de tempo que tínhamos para cada atividade. Para a realização da UD, pretendemos corrigir essa atitude, pois como destacado por Sanches e Valcarcél (1993) é importante a avaliação das ideias prévias dos sujeitos.

4.1.2. Atividade 2

As atividades 2 e 3 do minicurso “Alternativas para o ensino de modelos atômicos” procuravam encorajar os sujeitos a construir modelos explicativos para situações específicas que foram apresentadas e se caracteriza como uma atividade experimental.

O experimento utilizado na atividade 2 consiste em encher uma bexiga dentro de uma garrafa de vidro a partir de variações de temperatura no interior da garrafa. No entanto, o experimento foi executado antes da realização do curso, sem a presença dos participantes, novamente por limitação do tempo. Para o curso foi levado apenas o experimento pronto, mas todo o procedimento de realização do experimento foi mostrado por meio de um vídeo. Como o objetivo nesse momento é discutir os conhecimentos conceituais sobre o uso de modelos, acreditamos que a não realização do experimento no momento do curso não prejudicou a atividade.

Os participantes ficaram intrigados no momento que mostramos a garrafa com a bexiga dentro, pois o fizemos antes de mostrar o vídeo com as etapas de realização do experimento. Em seguida, passamos o vídeo que mostra os processos de execução e solicitamos que respondessem a uma atividade de expressão (ver apêndice 2, pág. 77). Nessa atividade pedimos que ilustrassem por meio de desenhos a organização da matéria em nível microscópico e escrevessem sobre o que poderia ter ocorrido naquela situação que foi apresentada. Desse modo, estariam construindo um modelo para a estrutura da matéria dentro do contexto do experimento que deveria possuir características que permitissem explicar o fenômeno em questão. Os participantes não deveriam necessariamente fazer referência aos modelos atômicos existentes, como nesse caso poderia ser considerado o modelo atômico de Dalton para o comportamento da matéria, o objetivo era apenas que construíssem um modelo explicativo a partir do que viram.

Para esta atividade, consideramos que as respostas que apresentaram as explicações baseadas nos modelos que classificamos como modelo do grau de agitação das moléculas, modelo de organização das moléculas e o modelo da diferença de densidade, que juntos correspondem a 96% das respostas, atenderam ao que foi proposto na atividade. Nesses casos, a estrutura da matéria é detalhada em nível microscópico e conseguimos identificar os modelos construídos pelos sujeitos. Em apenas uma das respostas, o sujeito se preocupou em

explicar o episódio, contudo não aprofundou na organização da matéria, se prenderam mais ao nível macroscópico, referindo-se a pressão de modo geral.

Mais da metade dos participantes atribuiu a explicação do fenômeno devido ao grau de agitação das moléculas sendo influenciado pela mudança de temperatura e conseqüentemente a diferença de pressão interna e externa. Como é ilustrado na resposta da Figura 4.

Atividade de expressão 1	
<p>Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes do balão ser posto no gargalo da garrafa. Exprese através de desenho.</p>	
	<p>o ar quente está, por estar quente, está provocando o aumento de pressão dentro da garrafa devido ao alto grau de agitação</p>
<p>Agora proponha um modelo para a matéria após o balão encher para dentro da garrafa. Exprese através de desenho.</p>	
	<p>Após esfriar a garrafa, ocorre o contrário, a diminuição da pressão interna, o que ocasionado pelo baixo grau de agitação da moléculas de ar.</p>
<p>O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?</p>	
<p>Após o resfriamento da garrafa, a pressão interna fica menor que a pressão externa. Então o balão ar que está fora é empurrado p' dentro da garrafa e suche o balão na parte interna da mesma.</p>	

Figura 4. Resposta de LIA à atividade de expressão 1

Apesar de utilizarem outros termos como número de colisões das moléculas, aumento da energia cinética, agitação ou movimento das moléculas, todos esses termos fazem referência ao grau de agitação das moléculas (ver figura 5).

Atividade de expressão 1

Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes do balão ser posto no gargalo da garrafa. Expresse através de desenho.

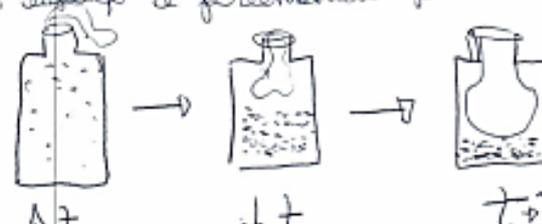


↑ Temperatura da garrafa e ar se expande (↑ n.º de colisões)
 ↓ Temperatura na garrafa e ar é "comprimido" volta a sua agitação natural

Agora proponha um modelo para a matéria após o balão encher para dentro da garrafa. Expresse através de desenho.

↓ Temperatura na garrafa e ar é "comprimido" →

- Diminui o número de colisões criando a compressão e o espaço é preenchido pelo ar de fora



↑ t ↓ t t = Normal

O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?

Se expande com aumento de temperatura (aumenta o número de colisões). E com a diminuição da temperatura o número de colisões diminui, diminuindo a expansão / "comprimindo seu tamanho".

Figura 5. Resposta de MARIA à atividade de expressão 1

Outro grupo de respostas explica a diminuição do volume de ar dentro da garrafa devido a organização das moléculas. Isto é, antes da bexiga encher dentro da garrafa, as moléculas estão dispersas no vidro e quando a bexiga enche as moléculas se organizam de forma mais agregadas, possibilitando que o volume seja preenchido pela bexiga (obstáculo substancialista). Como vemos na Figura 6.

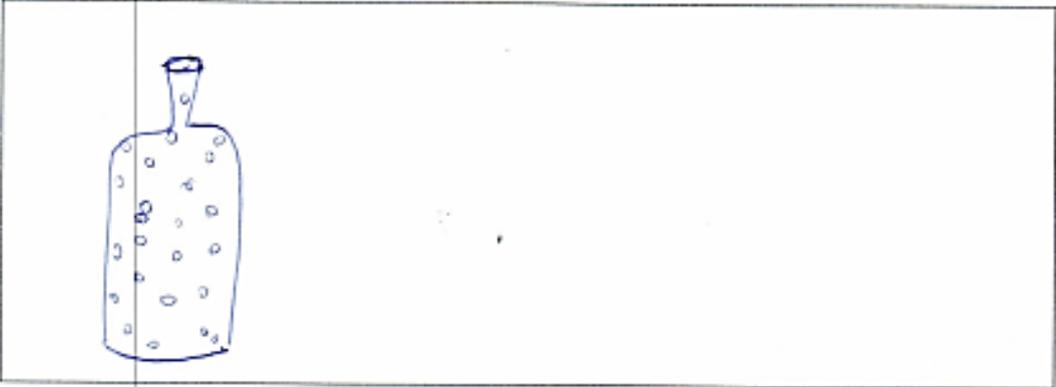
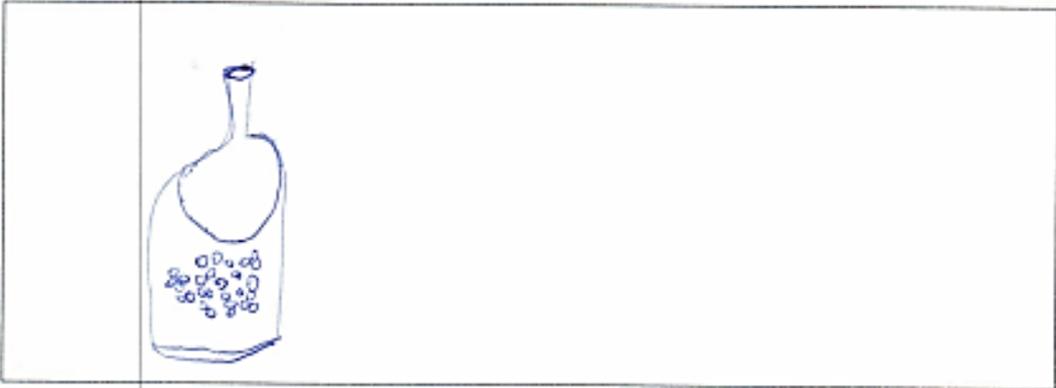
Atividade de expressão 1	
<p>Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes do balão ser posto no gargalo da garrafa. Exprese através de desenho.</p>	
<p>Agora proponha um modelo para a matéria após o balão encher para dentro da garrafa. Exprese através de desenho.</p>	
<p>O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?</p> <p><i>Quando a água quente foi retirada as moléculas ficaram bem espaçadas, e ao decorrer do tempo com o resfriamento da garrafa as moléculas ficaram mais unidas.</i></p>	

Figura 6. Resposta de BIA à atividade de expressão 1

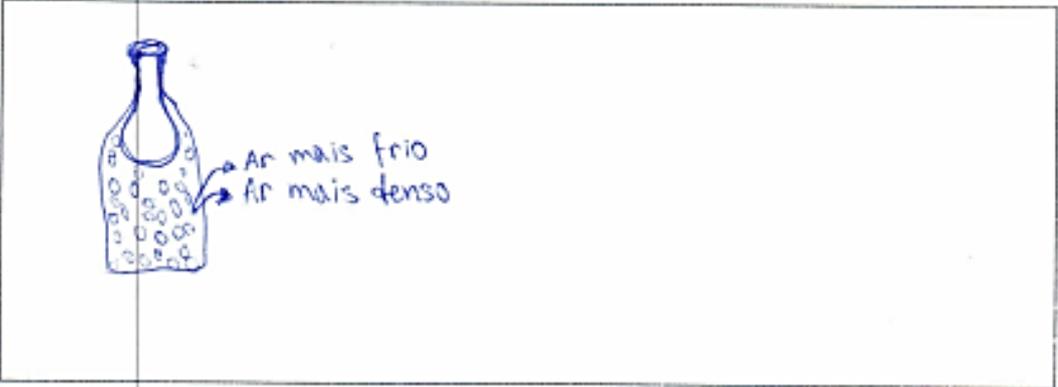
Algo semelhante aconteceu em quatro respostas, onde os sujeitos explicaram o enchimento da bexiga devido a diferença de densidade do ar quente e do ar frio. A diferença de densidade faz com que o ar dentro da garrafa vá para o fundo (Figura 7).

Atividade de expressão 1

Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes do balão ser posto no gargalo da garrafa. Exprese através de desenho.



Agora proponha um modelo para a matéria após o balão encher para dentro da garrafa. Exprese através de desenho.



O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?

ao colocar o balão na boca da garrafa, o ar que estava dentro da ~~garrafa~~ garrafa não consegue ir para a atmosfera, no processo de resfriamento da garrafa, o ar fica mais denso assim tendendo ir para o fundo da garrafa, puxando o balão nesta direção.

Figura 7. Resposta de TAÍS à atividade de expressão 1

Um dos sujeitos, não chegou a descrever com mais detalhes o evento observado, construiu sua explicação baseada na diferença de pressão interna e externa, contudo não explicou como a matéria estaria organizada para explicar o que provocaria essa diferença de pressão.

Na atividade de expressão, no último item solicitamos que expliquem a transição de um desenho para o outro, pois acreditamos que uma descrição poderia auxiliar no entendimento dos desenhos construídos pelos sujeitos. Um aspecto interessante das respostas

é que no espaço para desenhar muitos escreveram, mesmo construindo desenhos, muitos colocaram uma descrição ao lado, para complementar o desenho ou mesmo explicar o que estava ilustrando. Isso mostra que eles também sentiram a necessidade de explicar seus desenhos, sendo mais uma forma de expressão que eles utilizaram. Isso tornou mais rica a atividade, pois o propósito era que eles conseguissem se expressar, seja em forma de desenho ou escrita, e registrassem na atividade suas hipóteses. O que aconteceu sem problemas.

A utilização do experimento para criar um contexto de formulações de hipóteses e construção de explicações foi bastante proveitosa, pois a visualização de um fenômeno incomum como o que foi apresentado, além de causar uma impressão visual interessante para quem observa, provoca os participantes para questionarem o que veem. Mesmo antes de assistirem ao vídeo, os participantes já faziam proposições sobre o que poderia ter acontecido, levantavam hipóteses, procuravam entender o fenômeno que estavam observando. Ao assistirem o vídeo, acrescentaram elementos às suas hipóteses considerando as possíveis variáveis.

A construção dos desenhos foi realizada logo após a visualização do experimento, todavia ficou evidente a necessidade de discussão sobre o fenômeno antes de responder à atividade de expressão, para que os participantes tivessem oportunidade de elaborar melhor suas ideias. Para a UD, pensamos que a distribuição dos participantes em grupo para discussão pode enriquecer o trabalho, pois coloca em contato as ideias individuais.

4.1.3. Atividade 3

A atividade 3 também foi organizada em forma de experimento para construção de modelos explicativos, todavia faz referência a outro modelo atômico existente, sendo necessário considerar aspectos diferentes da situação anterior. O experimento utilizado consiste na visualização dos fenômenos de fosforescência e fluorescência. Foi apresentado aos participantes objetos que possuem essas duas propriedades em duas situações: sob incidência de uma “luz negra” e em condições nenhuma de iluminação (no escuro), respectivamente.

Utilizamos a “luz negra” para tornar o efeito mais perceptível. Também na intenção de acrescentar mais elementos para que os participantes considerassem, uma vez que foi informado para eles que essa luz apresenta mais energia que a luz branca usada na iluminação do ambiente da sala.

Para a atividade, direcionamos nosso interesse para o objeto que continha propriedades fosforescentes (aqueles conhecidos também como *glow in the dark*), pois são os mais intrigantes e destacam mais o aspecto do salto dos elétrons, no minicurso utilizamos um controle remoto. Os fenômenos observados pelos participantes não eram de todos desconhecidos, comumente encontramos esses objetos nas sinalizações de emergência e de trânsito, alguns painéis de relógios e tintas. Contudo, o que propomos para essa atividade foi a construção de explicações para esses acontecimentos, conjecturar o que permite a ocorrência desse fato, considerando os aspectos microscópicos através de uma atividade de expressão (ver apêndice 3, pág. 78). No enunciado da atividade de expressão relacionada a essa atividade, pedimos que elaborassem um modelo para a organização da estrutura da matéria que explicasse o evento apresentado em forma de desenho.

Consideramos que 47% das respostas atenderam ao que foi proposto na atividade, pois construíram explicações para o fenômeno e descreveram em seus desenhos a organização da matéria no nível microscópico, que classificamos como modelo de agitação, modelo do salto de elétrons e efeito fotoelétrico.

Em muitas respostas os sujeitos formulam hipóteses para explicar o que acontece, entretanto sem ilustrar a estrutura da matéria no nível microscópico. Em 53% das respostas, os sujeitos apenas ilustraram em seus desenhos as situações apresentadas, (os objetos sendo submetidos a luz negra e no escuro) apontando as possíveis explicações. Entre as explicações elaboradas estão liberação de energia e a presença de uma substância no botão do controle; tiveram ainda alguns sujeitos que apenas descreveram, sem explicar o fenômeno (Figura 8)

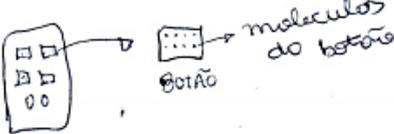
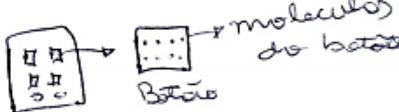
Atividade de expressão 2	
<p>Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes da lâmpada ser apagada. Exprese através de desenho.</p>	
<p>Os botões do controle ficam bem nítidos, acesos</p> 	
<p>Agora proponha um modelo para a matéria para depois que a lâmpada é apagada e o objeto continua sendo visto. Exprese através de desenho.</p>	
<p>Continua-se enxergando os botões</p> 	
<p>O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?</p> <p><u>A matéria permanece inalterada</u></p>	

Figura 8. Resposta de DANI à atividade de expressão 2

Isso também acontece na resposta de um sujeito que atribui a propriedade de “brilhar no escuro” a alguma substância que está presente nos botões do controle remoto, contudo ele não detalha que substância seria e como isso seria possível.

A explicação que apresentou mais respostas (36%) faz referência ao envolvimento de energia. Isto é, no momento que a luz negra está ligada, o objeto está absorvendo energia, quando essa incidência de luz cessa os botões do controle remoto liberam essa energia em forma de luz. Como vemos na Figura 9.

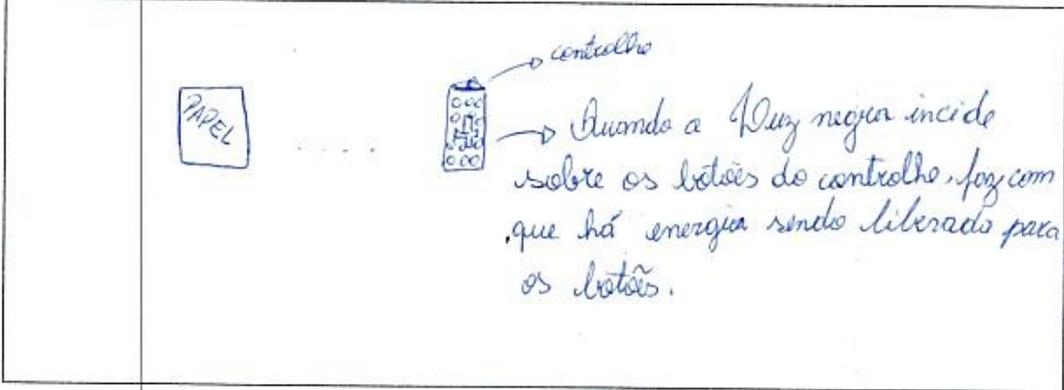
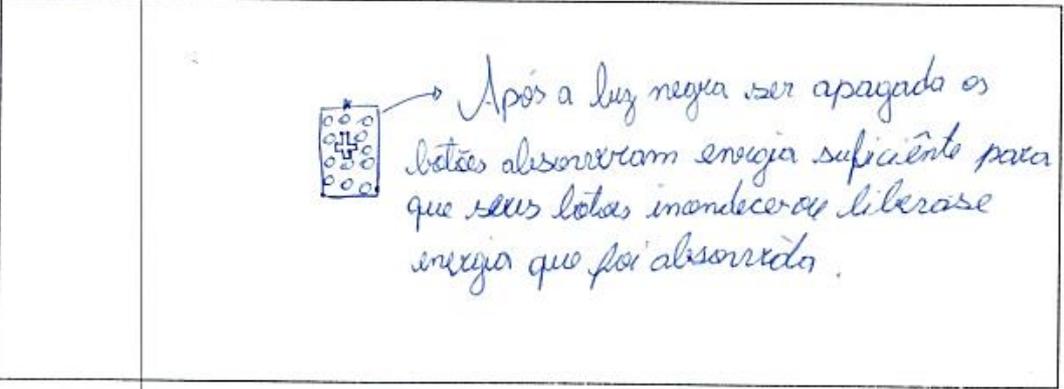
Atividade de expressão 2	
<p>Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes da lâmpada ser apagada. Exprese através de desenho.</p>	 <p>Quando a Luz negra incide sobre os botões do controle, faz com que há energia sendo liberada para os botões.</p>
<p>Agora proponha um modelo para a matéria para depois que a lâmpada é apagada e o objeto continua sendo visto. Exprese através de desenho.</p>	 <p>Após a luz negra ser apagada os botões absorvem energia suficiente para que seus botões inandecerem liberase energia que foi absorvida.</p>
<p>O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?</p> <hr/> <hr/> <hr/>	

Figura 9. Resposta de LUCAS à atividade de expressão 2

Como pode ser observado, essa explicação construída por eles possui aproximações com o modelo atômico de Bohr, contudo o grupo de sujeitos que apresentou essa resposta não faz referência às camadas e ao salto de elétrons. Na verdade, apesar de apresentar uma possível explicação para o que foi visto, não constrói um modelo para a organização da matéria e não descreve como essa energia é liberada.

Diferentemente, um grupo de sujeitos fez uso do modelo atômico de Bohr para explicar a luminosidade dos botões do controle, destacando o salto de elétrons nas camadas dos átomos. Como mostra a Figura 10.

Atividade de expressão 2

Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes da lâmpada ser apagada. Expresse através de desenho.

botões do controle água água-tônica

Agora proponha um modelo para a matéria para depois a lâmpada é apagada e o objeto continua sendo visto. Expresse através de desenho.

botões do controle

O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?

Quando a luz negra incide sobre o material os seus elétrons absorvem energia, quantidade suficiente para que essas partículas "saltem" de um nível energético para outro mais energético. Após deixar a fonte de energia os elétrons vão emitindo essa energia na forma de luz, momento em que eles voltam para o nível energético de origem possibilitando a visualização.

Figura 10. Resposta de LIA à atividade de expressão 2

Algumas pessoas afirmaram também que o fenômeno acontece por conta do efeito fotoelétrico que acontece nos botões do controle no momento em que ele está sob a luz negra, e continua quando a luz se apaga, permitindo que ele “brilhe no escuro”.

Ainda outras três respostas apresentaram sua explicação semelhante a do experimento anterior, construíram um modelo que classificamos como modelo de agitação das moléculas,

no qual a luz emitida pelos botões do controle no escuro é resultado da agitação e/ou do choque das moléculas que o compõe (ver Figura 11).

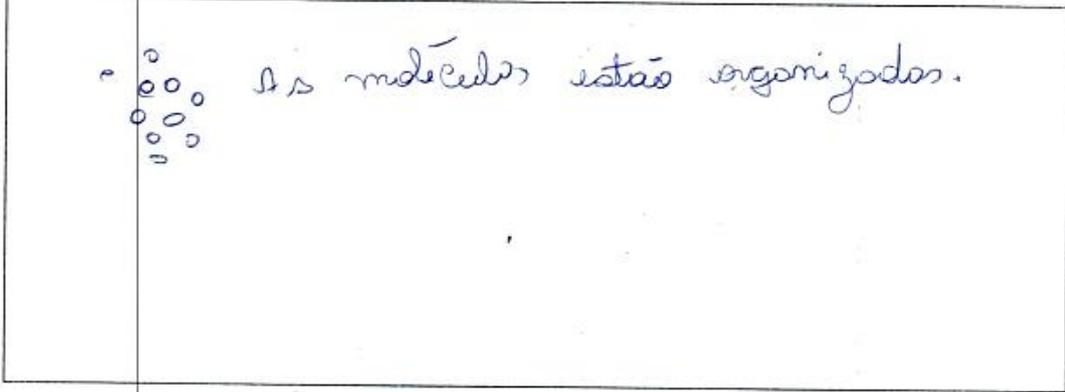
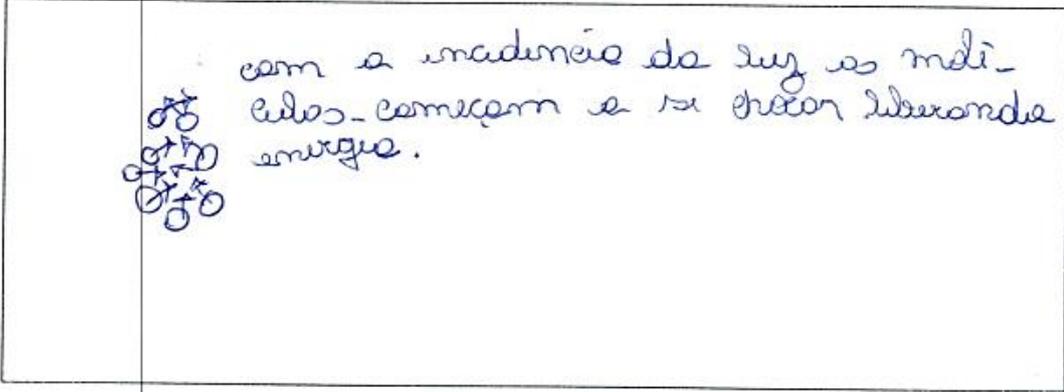
Atividade de expressão 2	
Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes da lâmpada ser apagada. Exprese através de desenho.	
	
Agora proponha um modelo para a matéria para depois que a lâmpada é apagada e o objeto continua sendo visto. Exprese através de desenho.	
	
O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?	
<p><u>Entram em contato umas com as outras, e geram energia.</u></p>	

Figura 11. Resposta de BIA à atividade de expressão 2

Como foi descrito acima, mais da metade dos sujeitos se limitaram apenas a descrever o fenômeno - que mesmo após a luz negra ser apagada os objetos emitiam luz - porém não detalhavam como isso acontecia, mesmo quando apresentavam uma possível explicação, eles não ilustraram em nível microscópico. Acreditamos que o enunciado e as orientações para a realização da atividade de expressão precisam ser reformulados para delimitar mais o nível de resposta que queremos e assim os sujeitos direcionem seus olhares para a construção de

modelos explicativo no nível microscópico. Além disso, como na atividade anterior, cremos que um ambiente para discussão antes da atividade de expressão pode favorecer o amadurecimento das ideias dos participantes e produzir melhores resultados na realização da mesma.

4.1.4. Atividade 4

Essa atividade aconteceu no segundo dia do curso, entretanto algumas pessoas que estiveram no primeiro encontro não foram para o segundo dia. O número de participantes caiu de 28 para 23 pessoas, sendo que apenas 16 responderam as atividades do segundo dia: atividade de expressão 3 e questionário final.

A atividade procurou encorajar os sujeitos a discutir os modelos explicativos construídos para as situações específicas que foram apresentadas. Nesse momento, os sujeitos vão relacionar os modelos explicativos construídos a partir dos questionamentos sobre os modelos propostos: os modelos explicativos para cada situação são iguais? quais as semelhanças e diferenças entre eles? é possível chegar a um modelo único que explique os dois casos? por quê?

Esses questionamentos foram organizados em uma atividade de expressão (ver apêndice 4, pág. 79) a qual os participantes registraram de forma escrita suas respostas. A intenção é fazê-los atentar para a diferença dos modelos propostos como sendo coerente, adequada. Ou seja, que os modelos que eles construíram são aplicáveis para a situação e contexto que eles foram criados, então, possui seu campo de aplicação, sendo incoerente utilizá-lo em outros contextos.

Na primeira pergunta, a qual questionava se os modelos construídos nas atividades de expressão 1 e 2 foram iguais, a maioria dos sujeitos respondeu que são diferentes. Apenas 18% respondeu que são iguais, justificando que a metodologia utilizada era diferente.

Para a segunda pergunta, que levantava as semelhanças entre os dois modelos, metade das respostas apresentou que a principal semelhança é o envolvimento de energia, em forma de calor e luz. Outra parte (25%) considerou que se propõe a representar o mesmo objeto, a estrutura da matéria, e o restante das respostas foram bem variadas.

Na pergunta sobre as diferenças, percebemos em muitas respostas a concepção de que a diferença estava no nível de aprofundamento entre os modelos, onde no primeiro caso era menor e no segundo caso o aprofundamento era maior, tratando da estrutura do átomo. Ou

ainda, outros responderam que as unidades envolvidas era o que variava, onde no primeiro caso trabalhava com pressão e temperatura e no segundo caso com luz e energia.

Por fim, com exceção de uma resposta, todas afirmaram que os dois modelos estão corretos, todavia, alguns chegaram a completar que o segundo estaria mais completo.

As respostas dessa atividade de expressão, quando consideradas em conjunto, apresentam várias concepções sobre os modelos atômicos. Podemos perceber a ideia de complementariedade entre os modelos atômicos existentes...Em grande parte das respostas aos questionamentos da atividade de expressão percebemos uma ideia de complementariedade entre os modelos, ou seja, o primeiro modelo construído considera apenas os aspectos gerais do átomo, não sendo necessário descrever sua estrutura interna, o que se faz no segundo caso do experimento da fosforescência, onde o modelo construído descreve a estrutura do átomo e destaca o elétron como um de seus componentes.

Os modelos construídos pelos sujeitos correspondem ao mesmo objetivo de representação, no caso, a estrutura da matéria. Isso é destacado no enunciado da última pergunta para que os participantes considerem isso ao avaliar os modelos. Pelo conjunto das respostas que analisamos, nos parece que isso ficou claro para os sujeitos nessa atividade. Inclusive alguns elencaram isso como uma das semelhanças entre os dois casos.

4.1.5. Atividade 5

A segunda atividade desse encontro foi a discussão de um texto que se propõe a fazer relações entre as perspectivas filosóficas Realismo e Antirrealismo. O texto escolhido para aprofundamento da discussão sobre modelos atômicos foi “Realismo e Antirrealismo” (OKASHA, 2002).

O referido texto apresenta vários pontos de discussão interessantes para refletir sobre o conhecimento das teorias científicas. Antes de tudo, ele descreve um pouco sobre as duas correntes filosóficas que pretende discutir. De modo geral e resumido, afirma que o realismo considera que o mundo físico existe independentemente da percepção humana, que o objetivo da ciência é descrever verdadeiramente o mundo e que deveríamos interpretar todas as teorias científicas como tentativas de descrições da realidade. Já o idealismo (ou antirrealismo) defende que o mundo físico depende da atividade consciente dos seres humanos, que o objetivo da ciência é fornecer proposições úteis e que deveríamos considerar as teorias científicas como instrumentos para nos ajudar a prever fenômenos observacionais.

Toda a discussão entre as duas perspectivas filosóficas parte de que o mundo físico possui entidades observáveis e não observáveis, onde, segundo os antirrealistas, estas últimas estão além do alcance humano, logo não podemos realmente obter conhecimento da parte inobservável da realidade. Para os antirrealistas não importa se as teorias são verdadeiras, o interesse em construir teorias para a parte não observável é deduzir consequências a partir delas. Enfim, assim como os antirrealistas, os realistas também apresentam vários argumentos e contra argumentos para sustentar seu ponto de vista, e disso se desenvolve a discussão do texto.

O autor também apresenta vários episódios da história da ciência para exemplificar os argumentos que o texto traz, por exemplo, reporta a Teoria Cinética dos Gases, que considera todo gás com moléculas em movimento, para descrever uma realidade inobservável ou a teoria a Teoria do Flogisto para dizer que não podemos avaliar uma teoria pelo seu sucesso empírico. Além disso, faz referência ao funcionamento dos lasers, detector de partículas, microscópio, e câmara de nuvens. Todavia é preciso ter o mínimo de conhecimento sobre cada um desses para compreender o significado dos pontos de discussão que surgem a partir deles.

Com a discussão do texto, os participantes compreenderam melhor a natureza abstrata do conhecimento químico, a qual acarreta em muitas dificuldades de aprendizagem para os alunos.

[...] mas só que aqui a discussão é que dá pra ti palpar ou não, porque no nosso caso específico dos químicos a gente trabalha com observações não a olho nú, são observações que a gente tem meio que viajar mesmo, tipo quando ele fala aqui dos modelos quânticos e tudo mais [...]. (ANA)

Quando os participantes atentaram para a característica não observável dos objetos de estudo da Química, começaram a questionar a veracidade dos conhecimentos produzidos por essa ciência, contudo, na fala a seguir percebemos a tendência dos pertencentes a essa área em defender um ponto de vista realista.

Não tem como a gente deixar de acreditar numa coisa só porque a gente não vê né, por exemplo Bohr, ele explica a existência do elétron em alguns elementos químicos através de que? ele diz que quando ele recebe uma determinada energia o elétron vai saltar de um orbital pro outro e no retorno dele vai liberar energia em forma de luz, aí isso daí você pode ver através do teste da chama [...] levando mais pro cotidiano do aluno você pode ver nos fogos de artifício, então você não vê uma coisa não significa que aquilo não existe, eles provam com a teoria através de muitos experimentos que na realidade algo acontece, que alguma coisa ali existe pra poder explicar o fenômeno que tá acontecendo. (JULIA)

Nesse caso, o participante se refere aos experimentos como sendo observações indiretas da parte inobservável da realidade. Contudo, assim como essa visão é questionado no texto, um dos participantes também levantou esse questionamento:

Então indo pra um lado mais filosófico assim dentro da história da ciência eu coloco o questionamento aqui, porque é considerado verdade os modelos atômicos? é considerado verdade porque foi testado, comprovado ou porque ninguém provou que tá errado? E se alguém chegar e falar que tá errado? provar? (JOÃO)

Após alguns momentos de discussão, levando em consideração as ideias apresentadas no texto, voltaram sua atenção para a utilidade dos conhecimentos produzidos. De alguma forma compreenderam que, do ponto de vista do ensino de modelos atômicos e do uso desses conhecimentos para fins de pesquisa e estudo, não tem sentido avaliar entre correto ou verdadeiro tais conhecimentos, mas o que torna esses conhecimentos relevantes tanto para a ciência quanto para o ensino de ciências são as possibilidades de uso que eles possuem.

[...] a uma teoria, ou a mais usual, a que nós estamos usando, houveram outras teorias, e que delas foi aproveitado algo, tipo você não pode descartar uma teoria completamente, alguma coisa ali ele pode ter acertado, alguma coisa dali é válido pra construção de uma nova, formular uma nova teoria, então, por isso que é o estudo dos modelos atômicos, porque desde o primeiro, algo foi aproveitado, a teoria não era totalmente errônea, tinha algo válido para a construção dos novos modelos ou dos modelos mais atuais. (ANA)

Isso reforça o que a gente tá vendo aqui essa questão do realismo e antirrealismo, que na questão a gente estuda várias coisas que são (...) até que provem o contrário, mas não deixam de ser útil, desde o modelo de Dalton até o modelo de Rutherford, de Bohr, todos foram e são uteis em vários aspectos. (JOÃO)

A discussão do texto foi muito interessante. Acreditamos que a escolha do texto foi boa, pois, além de tratar de aspectos mais gerais da filosofia e história da construção do conhecimento científico, o texto apresenta uma linguagem acessível ao nível dos participantes e utiliza os episódios da história da ciência e principalmente da química para contextualizar e exemplificar os pontos de discussão. Percebemos o interesse e participação dos sujeitos na discussão.

Entretanto, em alguns casos, fizeram-se necessários esclarecimentos sobre os exemplos utilizados pelo autor, os quais foram feitos apenas descrevendo os episódios referidos. Acreditamos que esses esclarecimentos podem ser feitos de forma mais ilustrativa, com imagens e vídeos, pois sabemos que a compreensão dos acontecimentos referidos no texto é importante para entender o sentido dos argumentos que estão relacionados aos mesmos.

4.1.6. Atividade 6

Esta atividade se deu com a resposta a um questionário no final do curso, como foi explicado anteriormente, o mesmo que foi respondido antes do início do curso.

Para a primeira pergunta do questionário, que investigava a compreensão sobre o átomo, mais da metade das respostas se referiram ao átomo como parte da matéria e um número considerável de respostas, ainda que se referissem a algum modelo atômico existente, afirmaram que o átomo vem sofrendo diversas interpretações com o tempo e que o seu conhecimento é baseado em teorias.

Na segunda pergunta também não houveram tantas diferenças. Quando questionados sobre a possibilidade de separar os elétrons dos átomos, os sujeitos que responderam sim justificaram-se pelas interações entre os átomos, ligações e reações química; e os que responderam que não, consideraram a força de atração que o núcleo exerce sobre os elétrons.

Para a terceira pergunta, sobre a possibilidade de ver o átomo, percebemos uma mudança, apenas um sujeito respondeu que podemos vê-lo, mas de maneira indireta a partir de experimentos. Todos os outros sujeitos afirmaram que não podemos ver o átomo, sendo que a maioria citou que as teorias atômicas que devem ser consideradas.

A última pergunta investigava a ideia de existência do átomo. Todos os sujeitos responderam que o átomo existe de fato.

Do conjunto de respostas ao questionário, percebemos que as concepções dos participantes sobre os modelos atômicos são resistentes e não apresentaram grandes diferenças do primeiro para o segundo questionário, contudo a ideia de construção teórica esteve mais presente nessa atividade. Mesmo quando os sujeitos respondiam as perguntas segundo suas concepções alternativas, acrescentaram informações sobre as teorias científicas (Figura 12).

1. O que você entende por átomo?	<p>O átomo é uma partícula que possui núcleo, em seu núcleo há prótons e nêutrons e na sua eletrosfera, os elétrons. Todas essas explicações baseiam-se em teorias até hoje usadas.</p>
2. É possível separar os elétrons dos átomos? De que forma? Por quê?	<p>Sim, os elétrons de um elemento fazem ligações com outros elementos e conforme mostram os estudos, pesquisas, os elementos + eletronegativos atraem o elétron p/ si.</p>
3. É possível ver o átomo? Como ele seria?	<p>Não</p>
4. O átomo de fato existe? De que forma poderíamos provar sua existência?	<p>Sim, segundo teorias de diversos cientistas.</p>

Figura 12. Resposta de PAULA ao questionário final

Outra mudança nas respostas dos sujeitos aconteceu na terceira questão, onde a ideia de observar o átomo através de instrumentos tecnológicos, como o microscópio, não esteve mais presente. Inclusive, apenas um sujeito afirmou que é possível vê-lo de forma indireta. Acreditamos que essa resposta esteja influenciada pela descrição da câmara de nuvens que fizemos no momento da discussão do texto.

Por outro lado, outros sujeitos assumiram uma posição de agnosticismo ante as teorias atômicas, segundo as indicações do autor do texto que discutimos. Podemos ver nas respostas a seguir que o sujeito não se preocupa mais em descrever a estrutura do átomo, mas sim de enfatizar seu caráter representacional (ver Figuras 13 e 14)

1. O que você entende por átomo?
 Após o corrente de modelos atômicos, vale a pena um por
 mais se adquirida, foi possível analisar que ele ocorre
 com os experimentos desenvolvidos o átomo possui uma
 sua matéria e que cada modelo da época explica alguma
 teoria que usamos atualmente.

2. É possível separar os elétrons dos átomos? De que forma? Por quê?
 Supra - los não! pois o átomo é em um constituição
 de elétrons. Segundo estudos comprovados.

3. É possível ver o átomo? Como ele seria?
 Não é possível; pois o mesmo é baseado em Teorias.

4. O átomo de fato existe? De que forma poderíamos provar sua existência?
 Existe de acordo com ponto de vista.

Figura 13. Resposta de ANA ao questionário final

1. O que você entende por átomo?
 É um partícula que sofreu diversas interpretações ao longo do tempo,
 que se desenvolveu a partir de ideias distintas para o seu real desen-
 volvimento.

2. É possível separar os elétrons dos átomos? De que forma? Por quê?
 Sim. Através de saltos quânticos, e assim, emitindo energia em
 forma de luz.

3. É possível ver o átomo? Como ele seria?
 Não a olho nu. Ele seria uma minúscula partícula com
 diversas ideias construídas e interpretações.

4. O átomo de fato existe? De que forma poderíamos provar sua existência?
 Sim. Através de estudos que houveram ao longo do tempo pro-
 vando ou explicitando a sua existência.

Figura 14. Resposta de CAIO ao questionário final

Acreditamos que a atividade de resposta ao questionário ao final do curso foi interessante por nos mostrar indicativos de mudanças nas concepções dos sujeitos. Como descrevemos acima, não foram grandes mudanças, mas foram bastante significativas e estão no sentido do que discutimos ao longo do curso.

Os questionários aplicados no minicurso tinham, além de perguntas abertas, uma tabela para ser preenchida com as evocações dos sujeitos referentes a cada termo indutor, que relacionava conceito, estrutura, utilidade e analogia referente conceito de átomo. As evocações dos sujeitos foram submetidas a tratamento no *software EVOG - Ensemble de Programmes permettant l'analyse des Evocations* (VERGÈS, 1992). Esse software organiza as palavras em uma tabela de quatro quadrantes, de acordo com a frequência com que elas são evocadas e a ordem com que elas aparecem nas evocações. Para a análise, utilizamos os termos que aparecem no primeiro quadrante da tabela, onde apresentam maior frequência e menor ordem média de evocação, por consideramos os mais relevantes para a análise.

Os termos resultantes do processo de análise no software foram agrupados em um mapa conceitual (MOREIRA, 1980) onde é possível contrastar as evocações dos sujeitos no início e ao final da realização do minicurso (BRABO e GOMES, 2013) (Figura 15).

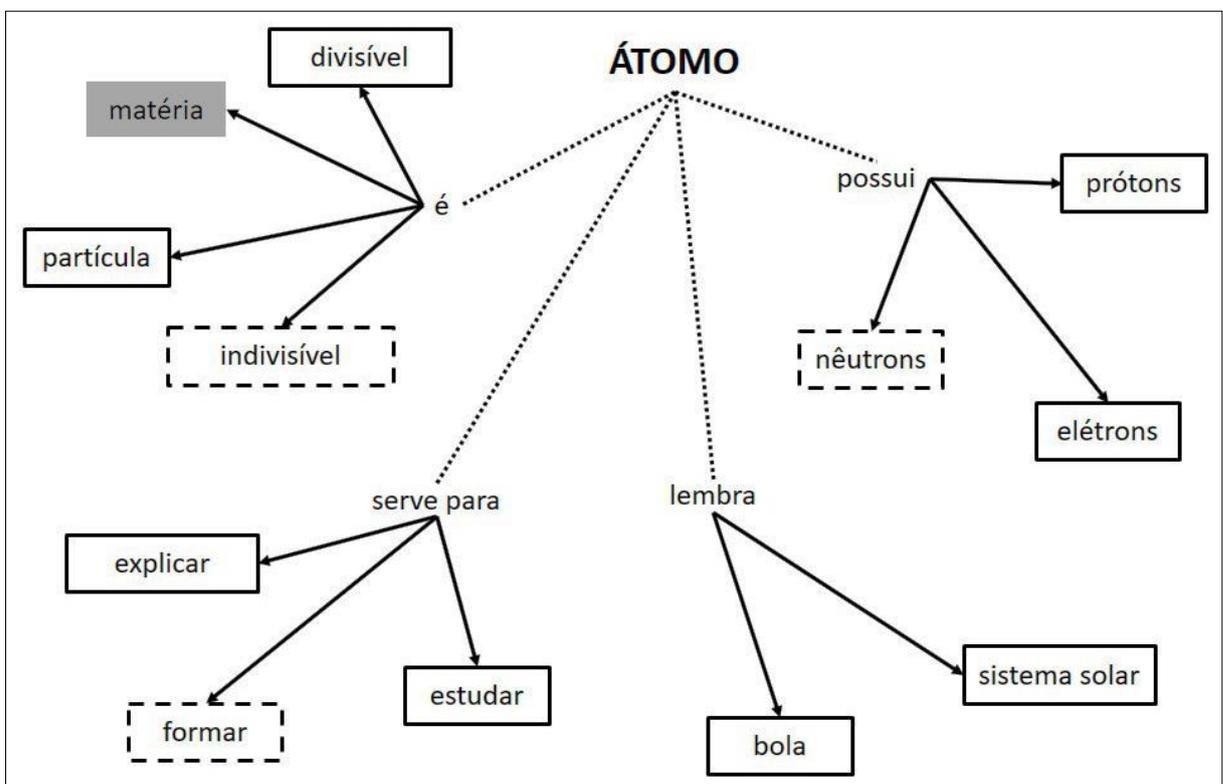


Figura 15. Mapa conceitual das evocações sujeitos no início e ao final da participação do minicurso

O mapa conceitual da Figura 15 foi construído a partir dos resultados da análise de evocações, utilizando o *software EVOC* (VERGES, 1992) com os termos mais frequentes e mais prontamente evocados pela amostra de 28 (vinte oito) participantes do minicurso. Para facilitar o contraste dos termos evocados antes e depois da participação nas atividades, foram escritos em caixas de texto de diferentes padrões: *i*) com borda em linha contínua aparecem os somente termos mais frequentes e mais prontamente evocados antes de participar das atividades (N = 28), *ii*) com borda pontilhada, os termos mais frequentes e mais prontamente evocados antes e depois da participação nas atividades (N = 23), e *iii*) com preenchimento cinza, somente os termos mais frequentes e mais prontamente evocados após a participação nas atividades (N = 23).

Com isso, é possível observar no mapa que não aparecem mudanças significativas nas evocações dos sujeitos antes e após a participação no minicurso. A substituição da palavra indivisível pelo termo matéria relacionado ao conceito de átomo, a supressão do termo nêutrons na estrutura do átomo e a supressão da característica formadora do átomo não mostram uma transformação na compreensão dos sujeitos acerca dos modelos atômicos para uma perspectiva mais convencionalista. Ou seja, assim como mostraram as respostas às perguntas abertas do questionário, a análise das evocações dos sujeitos indica que as concepções dos mesmos são superficiais, conflituosas e resistentes.

4.2. 2ª etapa da pesquisa: Produto

A partir da análise das atividades desenvolvidas na primeira fase do estudo, observamos que as principais dificuldades apresentadas pelos professores de química são provenientes, principalmente, do pouco conhecimento sobre a história de construção dos modelos atômicos, ou seja, conhecer as circunstâncias em que o conhecimento científico foi elaborado nos ajuda a compreender melhor esse conhecimento e assim utilizá-lo de maneira mais coerente e adequada.

Como já foi mencionado, com base nos resultados da amostra investigada na primeira fase da pesquisa e em sugestões disponíveis na literatura sobre concepções alternativas de modelos atômicos, optou-se em elaborar um texto que apresentasse, de forma um pouco mais aprofundada, aspectos históricos e epistemológicos relacionados ao tema. Dando um panorama geral da evolução dos modelos atômicos ao longo da História. Algumas atividades utilizadas para coletar dados durante a primeira fase desta pesquisa, também foram incluídas como sugestões de atividades no texto didático produzido.

4.2.1. Resultados pré-teste

Os 26 (vinte e seis) estudantes que receberam o livreto concordaram em responder a um questionário antes ler o texto. Esse pré-teste foi realizado no momento do recebimento do livro, a fim de registrarmos as concepções prévias dos participantes a respeito do tema.

O questionário (Apêndice 5) é composto por um teste de evocações para quatro termos relacionados ao tema e mais três perguntas abertas. Para efeito análise, as respostas foram organizadas em uma tabela de categorização das respostas (Tabela 1), cujas categorias foram propostas.

A primeira questão do questionário tinha o objetivo de investigar que perspectiva o sujeito assume quanto ao seu entendimento sobre o átomo por meio de uma pergunta direta sobre o que seria o átomo. Todos os sujeitos apresentaram respostas que indicam uma perspectiva realista do átomo, mesmo que apoiando-se em modelos atômicos diferentes. As 26 respostas a essa pergunta foram equilibradas. Cerca de 31% sujeitos afirmaram que o átomo é uma unidade formadora da matéria sem apresentar elementos de algum dos modelos atômicos existentes. Outros 31% descreveram o átomo com características do modelo atômico de Dalton e 23% falaram da divisão do átomo em núcleo e eletrosfera com subpartículas em sua estrutura, semelhante ao modelo atômico de Rutherford. Tiveram ainda sujeitos (15%) que descreveram o átomo com características desses dois modelos simultaneamente, mesmo que isso pareça contraditório.

Na segunda pergunta questionamos a existência do átomo para os sujeitos. Destes, 77% afirmaram a existência do mesmo, aparentemente baseados no que leram em livros de química geral ou escutaram de seus professores, sem apresentar evidências concretas, apenas mencionando o trabalho dos cientistas em descobrir maneiras de desvendá-lo, confirmado suas perspectivas realista em relação ao átomo. Outros sujeitos, cerca de 15%, mencionaram o papel de representação dos modelos atômicos, contudo também afirmaram que o átomo existe de fato. Apenas um sujeito (S22) indicou em sua resposta não estar seguro da existência do átomo, afirmando em sua resposta que tudo que ele conhecia eram modelos, análises de fenômenos.

A terceira pergunta desafiava os sujeitos a explicar uma situação comum em dias chuvosos: o relâmpago, emissão luminosa do raio, se valendo dos modelos atômicos para isso. A maioria dos sujeitos, mais ou menos 42%, não conseguiu explicar a liberação de luz e outros 23% até chegaram a elaborar uma explicação para o fenômeno, contudo sem

mencionar algum modelo atômico. O modelo de Bohr foi citado por 34% dos sujeitos que explicaram de alguma forma o salto quântico.

A tabela a seguir corresponde ao resumo das respostas dos sujeitos. Nessa tabela podemos observar as semelhanças e diferenças entre as respostas. Também é possível avaliar cada sujeito de um modo geral, a partir da associação de suas respostas às três perguntas.

4.2.2. Resultados pós-teste

Esse questionário foi elaborado para ser respondido após a leitura do livro para discutir os assuntos que os sujeitos acharam mais interessante no livro e como suas ideias se modificaram, ou não, com a leitura do mesmo. Dos vinte e seis sujeitos que receberam o livro, apenas três responderam o segundo questionário: S16, S17 e S23.

A primeira pergunta questiona as mudanças nas concepções dos sujeitos sobre a natureza e existência do átomo. Todos os sujeitos afirmaram que seus conhecimentos sobre o tema se ampliaram, no sentido de compreender que os modelos são convencionais, como nessa afirmação:

“(…) o livro deixa claro que as várias propostas de entender a matéria não seriam incorretas, e sim limitadas” (S23).

Este outro trecho também indica uma compreensão sobre o papel utilitário dos modelos atômicos, mesmo os modelos mais simples são importantes até hoje:

“(…) acabo por afirmar que algum modelo é melhor que outro, e isso não é verdade” (S16).

Os sujeitos afirmaram também que desconheciam alguns fatos históricos que o livro descreve:

“(…) como por exemplo do descobrimento dos nêutrons, que é mais recente do que imaginei” (S16).

Nos livros didáticos alguns conceitos são agrupados para simplificar o assunto, contudo isso faz com que os estudantes tenham uma impressão equivocada a respeito da construção dos mesmos. Outro exemplo interessante é que mesmo antes da construção do modelo atômico de Bohr, já se tinha conhecimento da identidade dos elementos químicos através de seus espectros de luz (FILGUEIRAS, 2004).

De forma mais ampla, os sujeitos afirmaram que o livro discute bem a natureza da ciência como um todo, não apenas na área da química. Os sujeitos reconheceram a importância de compreender como se desenvolveu a ciência.

“(…) a linha evolutiva e construtiva que o livro trabalha são fundamentais para a compreensão não só da química como da ciência” (S17).

A leitura do livro estimulou os sujeitos a refletirem sobre a sua formação de maneira mais crítica, percebendo que

“(…) os assuntos, principalmente voltados para a atomística, são vistos de maneira muito fragmentada até mesmo na universidade isso prova a evolução do pensamento e logo da ciência” (S17).

A segunda pergunta pedia aos sujeitos que falassem sobre os aspectos do livro que acharam mais interessantes. Mais uma vez todos os sujeitos direcionaram suas respostas pra um mesmo sentido: o modo como esse assunto é trabalhado em sala de aula. De fato, um dos objetivos do livro é transformar a maneira como esse conteúdo é explorado pelos professores,

“(…) quebrar o paradigma tradicional vinculado ao ensino de modelos atômicos no ensino médio” (S23).

Nessa próxima fala do S17, observamos que ele relaciona o que o livro apresenta à realidade do contexto escolar, e ainda indica que as dificuldade dos alunos em aprender química tem relação com a maneira como é ensinada:

(...) o livro trabalha sobre o conceito de balanceamento das equações químicas, proposto por Dalton, em sua teoria, que na educação básica é visto de maneira totalmente desconexa, que resulta na grande dificuldade que se tem em cálculos químicos e estequiométricos... (S17).

A partir da leitura do livro, os sujeitos puderam conhecer melhor aspectos relacionados à própria construção do conhecimento científico de modo geral, discutir os objetivos de se construir conhecimento e como isso é importante para ser levado para o ensino de ciências, o S17 afirma que

“Percebeu-se através do livro que os conceitos não são isolados e nem imutáveis, a ciência está em constante evolução e mudança, contudo deve haver um ponto de partida no que já se conhece” (S17).

A terceira e última pergunta indagava se os sujeitos saberiam explicar um fenômeno natural comum a partir dos conhecimentos dos modelos atômicos, a fim de perceber nos sujeitos uma consciência de utilização dos modelos atômicos no contexto adequado de aplicação, ou seja, saber se eles conseguem fazer a variação dos modelos de acordo com a situação que se está considerando. Nas falas dos sujeitos podemos perceber que esses objetivos, de certa maneira, foram alcançados, pois dois sujeitos explicaram adequadamente o evento apresentado:

“o modelo de Bohr, onde os elétrons estariam em camadas, e que podem ser excitados, passando para uma camada mais externa e retornando, liberando energia em forma de luz” (S16).

E ainda um dos sujeitos complementou que

“a partir do modelo atômico de Thomson, já podemos analisar de maneira mais coerente os fenômenos vinculados a natureza elétrica da matéria (S23).

Com relação às evocações dos sujeitos, construimos um mapa conceitual para contrapor os termos escritos por eles antes e após a leitura do livro. O mapa conceitual (Figura 16) está organizado de maneira que os termos com borda em linha pontilhada referem-se ao momento antes da leitura do livro, os termos com borda em linha contínua são termos que apareceram nos dois momentos da pesquisa e os termos com sombreamento cinza foram os termos que surgiram após a leitura do livro.

Podemos observar no mapa conceitual (Figura 16) que houve algumas mudanças nos termos evocados pelos três sujeitos que responderam o pré e o pós-teste (S16, S17 e S23), se ponderarmos o aspecto quantitativo, das 36 palavras presentes no mapa, 14 estavam presentes antes e após a leitura do livro, ou seja, mais da metade das palavras mudaram, algumas sumiram e outras surgiram. Se associarmos isso ao significado dos termos que mudaram, podemos considerar que as mudanças apontam para uma ampliação dos conhecimentos dos sujeitos acerca do tema em questão.

Para exemplificar isso temos que, no termo indutor referente ao aspecto conceitual de átomo (Átomo é) apareceram novas palavras após a leitura do livro. A supressão das palavras fundamental e individual pelas palavras modelo, representação, entidade e inacabado indicam uma mudança de perspectiva realista para uma perspectiva mais convencionalista.

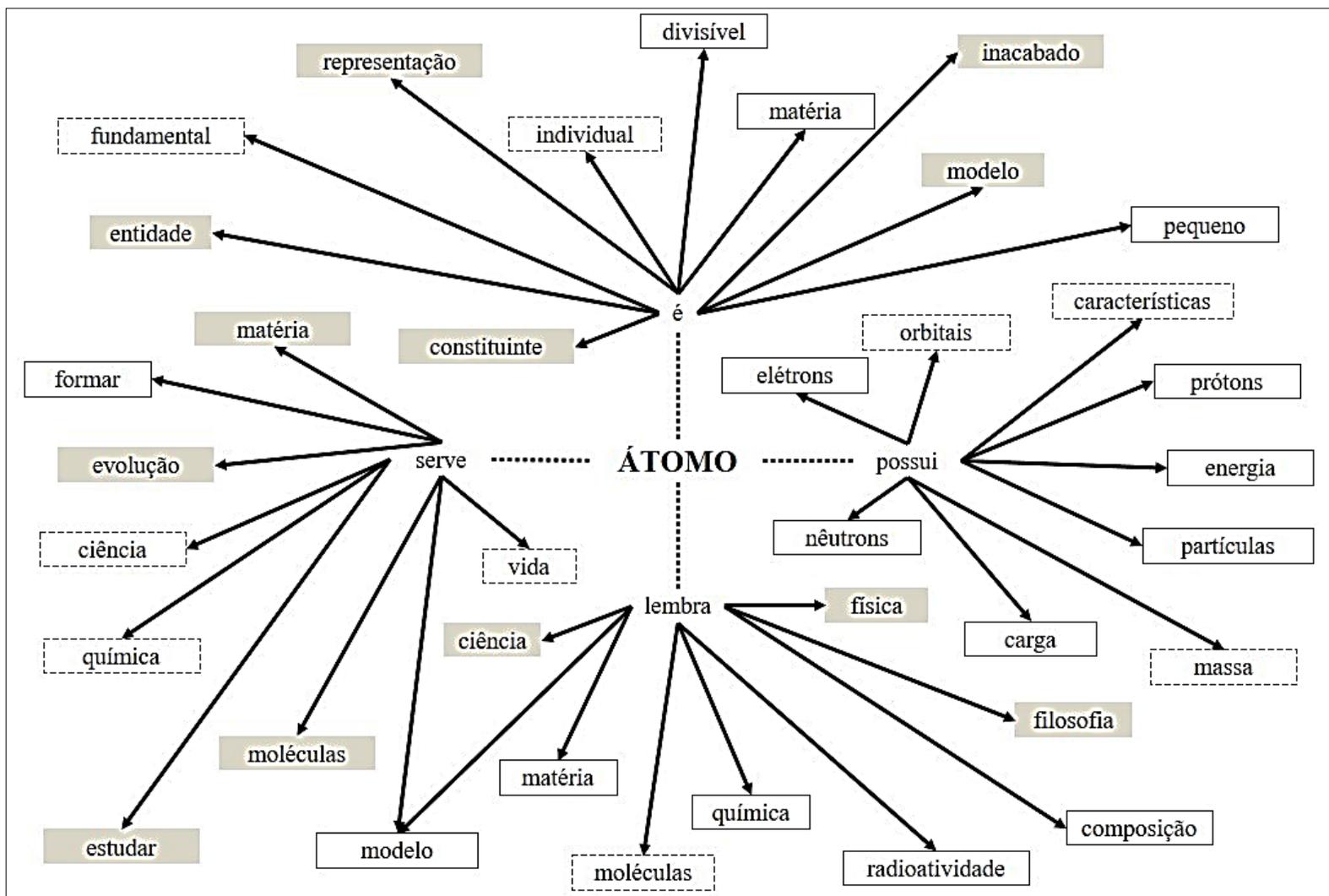


Figura 16. Mapa conceitual das evocações antes e após a leitura do livro (termos com bordas pontilhadas foram evocados antes da leitura do livro; termos com bordas contínuas foram evocados antes e após a leitura do livro; termos com sombreado cinza foram evocados após a leitura do livro).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades realizadas no minicurso e também o questionário aplicado antes da leitura do livro mostram que os sujeitos não compreendem adequadamente o uso dos modelos atômicos, nem a natureza desse conhecimento. As concepções dos sujeitos acerca do tema são confusas, incoerentes e muitas vezes possuem ideias conflitantes que conseguem conviver sem serem questionadas.

Nas expressões dos sujeitos é possível perceber a crença na existência do átomo, ou seja, compreensão do átomo como uma realidade e não como uma teoria que explica essa realidade, que, por sua vez, pode corroborar a existência de concepções epistemologicamente distorcidas tais como as apresentadas nos trabalhos de Porlán (1989), Harres (1999) e Köhnlein e Peduzzi (2002).

Os sujeitos, apesar de serem professores e estudantes de química, não apresentaram em suas expressões termos ou ideias referentes aos modelos atômicos mais atuais, suas ideias parecem corroborar os resultados de pesquisas que apontam o modelo atômico de Rutherford como representação majoritária no discurso de jovens estudantes (DE LA FUENTES *et al*, 2003; GOMES e OLIVEIRA, 2007; SANDRI *et al*, 2011). Além de apresentarem indícios de obstáculos epistemológicos nas concepções de modelos atômicos dos sujeitos apontados nos trabalhos de Mortimer (1995), Gomes e Oliveira (2007) e Wartha e Silva Júnior (2011).

E ainda, os sujeitos não compreendem a variedade de modelos, acreditam que um modelo surge e substitui o anterior e que o modelo mais atual é o mais correto. Tudo isso dificulta a percepção da possibilidade do uso de diferentes modelos atômicos em diferentes contextos de aplicação.

De qualquer forma, essa incompreensão conceitual pode ter sido produto de um ensino focado exclusivamente em conteúdos e resolução de exercícios descontextualizados ministrados durante o curso de graduação, o que poderia ser minimizado com a inclusão de discussão sobre aspectos históricos e natureza evolutiva das teorias científicas – neste caso dos modelos atômicos. Essa sugestão didática foi feita por Mortimer (1995) para ensinar estudantes da educação básica. Na referida obra (MORTIMER, 1995, p.26) o autor defende que para a superação de obstáculos epistemológicos geralmente identificados nas concepções dos estudantes, os professores podem recorrer a uma abordagem histórica da ciência e ainda discutir os conceitos de modelos científicos dentre suas origens e aplicações, dizendo que “A construção desse modelo elementar em sala de aula tem a vantagem de chamar a atenção para

a natureza dialética da relação entre modelo e realidade, teoria e fenômeno, característica importante da ciência química”.

Os resultados dessa pesquisa indicam que o material construído pode ajudar a minimizar os problemas encontrados nas concepções dos professores de química e assim contribuir para um ensino mais reflexivo do tema, uma vez que foi possível perceber mudanças nas ideias dos sujeitos após a leitura do mesmo.

Os resultados apontam que atividades de cunho prático (os experimentos) delineados segundo uma perspectiva construtivista (SANCHES e VALCARCEL, 1993) podem ser importantes para estimular a reflexão sobre a relação entre teorias científicas e evidências experimentais e, assim, podem ser úteis para mapear concepções alternativas e, então, subsidiar o planejamento de materiais ou atividades didáticas que possam ajudar a mitigar problemas detectados e oportunizar os estudantes aprenderem teorias científicas de forma mais consistente e crítica.

Nesse sentido, o livreto produzido, apresenta uma discussão de característica mais filosófica sobre a construção do conhecimento científico e sobre questões epistemológicas que favoreceram a compreensão dos sujeitos sobre os modelos atômicos quanto ao seu caráter representacional. Essa pesquisa reforça a necessidade de discussão dos contextos históricos de construção dos modelos atômicos para melhor compreensão dos aspectos já mencionados de utilidade e representação dos mesmos. O livreto também foi importante para discussão do ensino desse tema, pois os participantes reconheceram a necessidade de ensino dos vários modelos, inclusive dos mais antigos.

Obviamente os resultados dessa pesquisa não são definitivos. É possível realizar investigações semelhantes, variando métodos de coleta e/ou análise de dados, aumentando o tamanho ou variando o perfil amostra etc. De qualquer forma, esperamos ter contribuído para futuras pesquisas de ensino-aprendizagem sobre o tema, ao ter apresentado tanto o estado da arte sobre o tema quanto um material didático que pode ser utilizado em cursos de formação de professores de química ou mesmo lido por pessoas interessadas no assunto.

REFERÊNCIAS

- ASTOLFI, J.P.; PETERFALVI, B. VÉRIN, A. *Como as crianças aprendem as ciências*. Lisboa: Instituto Piaget, 1998.
- BACHELARD, G. *A Formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Estela dos Santos A-breu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. 3a ed. Lisboa: Edições 70, 2004.
- BERRYMAN, S. Democritus. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2008 Edition), 2008. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/democritus/>>. Acesso em: 10 Set 2015.
- BOGDAN, R. e BIKLEN, S. *Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria métodos*. Porto: Ed. Porto, 1994.
- BRABO, J.C.; MUNIZ, A. A. M.e OLIVEIRA, M.E.S. Modelos atômicos de futuros professores de Química: teorias científicas ou representações sociais? Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Águas de Lindóia, SP – 10 a 14 de Novembro de 2013.
- BRABO, J.C. e GOMES, A.S.A. Teste de evocações semiestruturado como ferramenta para o estudo de representações sociais: possibilidades de aplicação na pesquisa em ensino de ciências. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Águas de Lindóia, SP – 10 a 14 de Novembro de 2013. <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0482-1.pdf>>
- BRASIL. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais*. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998.
- CANTORE, E. *Atomic order: an introduction to the philosophy of microphysics*. MIT Press, Cambridge, MA. 1969.
- CHASSOT, A. Sobre prováveis modelos de átomos. *Química Nova na Escola*. n. 03, p. 1, 1993.
- DE LA FUENTES, A.M.; PERROTA, M.T.; DIMA, G.; GUTIÉRREZ, E.; CAPUANO, V. e FOLLARI, B. Estructura atômica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB). *Enseñanza de las Ciencias*, v. 21, n. 1, p. 123-134, 2003.
- DUBSON, M. *A Brief History of Modern Physics and the development of the Schrödinger Equation*. Department of Physics, University of Colorado Boulder, 2008b. Disponível em: <<http://goo.gl/qKv2kV>>. Acesso em: 10 Set 2015.
- DUBSON, M. *Quantum Mechanics*. Department of Physics, University of Colorado Boulder, 17 ago. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/9CIKSx>>. Acesso em: 10 Set 2015.
- FERNANDEZ, I., GIL PEREZ, D., CARRASCOSA, J., Cachapuz, A. Y PRAIA, J: (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488
- FILGUEIRAS, Carlos AL. A Espectroscopia e a Química. *Química Nova na Escola*, v. 3, p. 22-25, 1996.
- FILGUEIRAS, Carlos Alberto L. Duzentos anos da teoria atômica de Dalton. *Química Nova na Escola*, v. 20, p. 38-44, 2004.

- GRIFFITHS, A.K; PRESTON, K.R. (1992), Grade-12 students misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29. 1992. p. 611-628.
- GOMES, J. P. H; OLIVEIRA, O. B. O. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. *Ciências & Cognição*, Rio de Janeiro, v. 12, p 96-109, 2007.
- HARRISON, A.G; TREAGUST, D.F. Conceptual change using multiple interpretive perspectives: Two case studies in secondary school chemistry. *Instructional Science*, 29. 2001. p.45-85.
- HERMOSO, W.; ORNELLAS, F. Modelos da Química Quântica no espaço de momento: diferentes representações de um mesmo sistema. *Química Nova*, 2009. 2487-2491.
- KÖHNLEIN, J.F.K. & PEDUZZI, L.O.Q. Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências. *Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF*. Águas de Lindóia/SP, 2002.
- KRAGH, Helge. Convenções e ordem da natureza: algumas perspectivas históricas. *Amazônia – Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v.11(22), p.5-22, 2015.
- KUHN, T. *The road since structure: philosophical essays, 1970-1993, with an autobiographical interview*. Chicago: University of Chicago Press, 2000.
- LAKATOS, Imre. *História da ciência e suas reconstruções racionais*. Lisboa: Edições 70, 1998.
- LUCRÉCIO. *De rerum natura*. Tradução de Martin Ferguson Smith. Cambridge: Harvard University Press, 2001.
- MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 24, n. 1, p.112-131, 2007.
- MATTHEWS, Michael R. *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Psychology Press, 1994.
- MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. . Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. *Atas do IV Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade*, São Cristóvão. 2010.
- MCGRAW-HILL. Atomic structure and spectra. *The Free Dictionary by Farlex*, 2002. Disponível em: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Atomic+structure+and+spectra>>. Acesso em: 10 Set 2015.
- MOREIRA, Marco A. Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa. *Ciência e Cultura*, v. 32 (4), p. 474-479, 1980.
- MOREIRA, M.A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.31(1). 2009.
- MORTIMER, E. F. *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.
- NIJAZ, M.; CARDELLINI, L. What can the Bohr-Sommerfeld model show students of chemistry in the 21st century? *Journal of Chemical Education*, 88, n. 2, 2011. 240-243. DOI: 10.1021/ed100481e.

- OKASHA, Samir. *Una brevísima introducción a la filosofía de la ciencia*. Cidade do México: Oceano. 2007.
- OKI, M. D. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. *Química Nova*, São Paulo, 32, 2009. 1072-1082. DOI 10.1590/S0100-40422009000400043.
- OLIVEIRA FILHO, K.S. e SARAIVA, M.F.O. *Espectroscopia. Astronomia e Astrofísica*. <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#boltz>
- POPPER, Karl R. *A Lógica da Pesquisa Científica*. Editora Cultrix, 2004.
- SÁNCHEZ, G. e VALCÁRCEL M.V. Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 1993, pp. 33–44.
- SANDRI, I. G. ; MARTINS, J.A. ; PIEMOLINI-BARRETO, L. T. ; VILLA-BOAS, V. . Concepções Prévias do Modelo de Átomo dos Alunos de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química. *Anais do XXXIIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, 2011, Blumenau. COBENGE, 2011.
- SANTOS, A. O. Como são formadas as concepções de modelos dos alunos a partir da visão dos professores de ciências. *Anais do V Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade"*. São Cristóvão – SERGIPE. 2011.
- TABER, K. S. The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept, teaching model or epistemological obstacle? *Foundations of Chemistry*, 5 (1), p.43-84, 2003.
- TABER, K. S. Straw men and false dichotomies: overcoming philosophical confusion in chemical education. *Journal of Chemical Education*, v. 87, n. 5, p. 552-558, 2010. DOI: 10.1021/ed8001623.
- TAVARES, O.A.P. *Ernest Rutherford e o Átomo Nuclear*. CBPF-CS-002/11. 2011. Disponível em <http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/cs00211.2011_01_10_13_57_15.pdf>. Acesso em 18/Set.2015.
- THAGARD, P.; TOOMBS, E. Atoms, categorization and conceptual change. In: COHEN, H.; LEFEBVRE, C. *Handbook of Categorization in Cognitive Science*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science, v. 1, 2005. Cap. 10, p. 243-255.
- TSAPARLIS, G. Towards a meaningful introduction to the Schrödinger equation through historical and heuristic approaches. *Chemistry Education: research and practice in Europe*, 2, n. 3, 2001. 203-213. http://www.uoi.gr/cerp/2001_October/pdf/04Tsaparlis.pdf.
- VERGÈS, P. L'évocation de l'argent : Uneméthode pour la définition du noyau central d'unereprésentation. *Bulletin de Psychologie*, XLV (405), p.203-209. 1992.
- WARTHA, E. J. ; ALVES, L. C. ; SÁ, P.L ; SANJUAN, M. A. ; SANTOS, C. V. . Uma proposta didática para a elaboração do pensamento químico sobre elemento químico, átomos, moléculas e substâncias. *Experiências em Ensino de Ciências (UFRGS)*, v. 5, p. 7-20, 2010.
- WARTHA, E. J.; SILVA JUNIOR, A. J. . A experimentação e a superação dos obstáculos epistemológicos no processo de compreensão da estrutura da matéria. *Rencima*, v. 2, p. 144-154, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Questionário para estudo das ideias dos sujeitos do minicurso

1ª PARTE - Evocações

Escreva até quatro conceitos diferentes relacionados com cada uma das expressões incompletas, abaixo relacionadas. Os conceitos podem ser repetidos desde que não na mesma linha.

Átomo é...				
Átomo possui...				
Átomo serve...				
Átomo lembra...				

2ª PARTE - Perguntas abertas

1. O que você entende por átomo?

2. É possível separar os elétrons dos átomos? De que forma? Por quê?

3. É possível ver o átomo? Como ele seria?

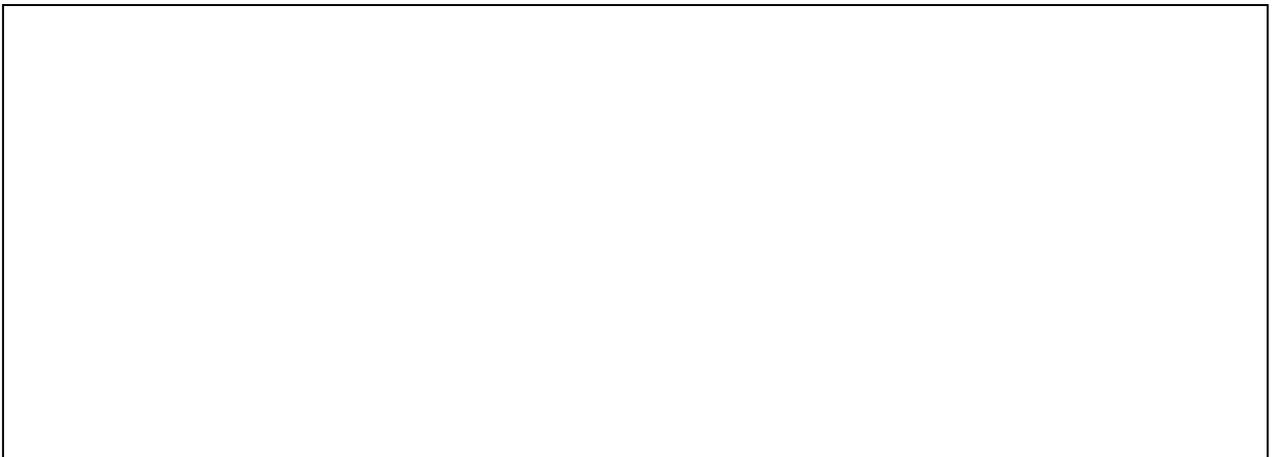
4. O átomo de fato existe? De que forma poderíamos provar sua existência?

APÊNDICE 2 – Atividade de expressão 1 do minicurso

Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes do balão ser posto no gargalo da garrafa. Expresse através de desenho.



Agora proponha um modelo para a matéria após o balão encher para dentro da garrafa. Expresse através de desenho.



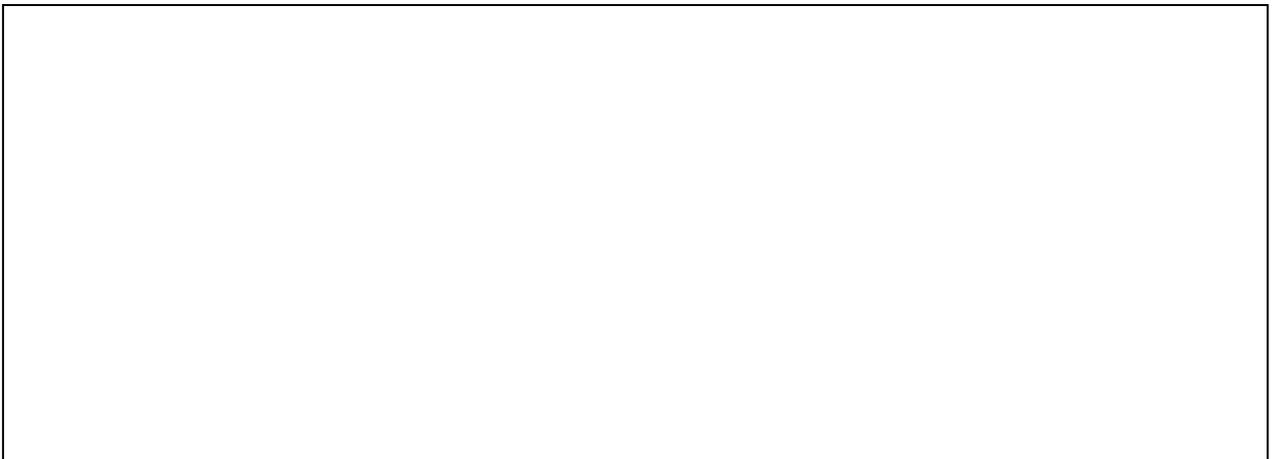
O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?

APÊNDICE 3 – Atividade de expressão 2 do minicurso

Considerando o que foi observado, proponha um modelo para a matéria antes da lâmpada ser apagada. Expresse através de desenho.



Agora proponha um modelo para a matéria para depois que a lâmpada é apagada e o objeto continua sendo visto. Expresse através de desenho.



O que acontece com a matéria que possibilita o fenômeno observado?

APÊNDICE 4 – Atividade de expressão 3 do minicurso

Os modelos explicativos propostos para os experimentos 1 e 2 foram iguais?

Quais as características semelhantes entre eles?

E quais as diferenças?

Considerando que nos dois casos foram construídos modelos para a matéria, ou seja, para um mesmo objeto, é possível afirmar qual modelo está correto? Por quê?

APÊNDICE 5 – Questionário pré-leitura do livro

Universidade Federal do Pará – Instituto de Educação Matemática e Científica

Avaliação do Livro “História e natureza dos modelos atômicos” – PRÉ-TESTE

Caso concorde em colaborar voluntariamente com essa pesquisa, responda as perguntas a seguir.
Suas informações serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa e sua identidade será preservada.

Nº MATRÍCULA: _____ SEXO: ___ IDADE: ___ DATA: _____

EVOCÇÕES

Escreva até quatro conceitos (palavra) diferentes relacionados com cada uma das expressões incompletas, abaixo relacionadas. Os conceitos podem ser repetidos desde que não na mesma linha.

Átomo é ...				
Átomo possui ...				
Átomo serve ...				
Átomo lembra ...				

QUESTÕES

1) Para você o que é o átomo?

2) O átomo existe? De que forma (experimentos, equipamentos, ...) poderia se provar sua existência?

3) Em nível atômico, você seria capaz de explicar os relâmpagos, ou seja, fenômenos luminosos que ocorrem na atmosfera, principalmente durante tempestades?

Agradecemos pela sua colaboração!

APÊNDICE 6 – Questionário pós-leitura do livro

Universidade Federal do Pará – Instituto de Educação Matemática e Científica

Avaliação do Livro “História e natureza dos modelos atômicos” – PRÉ-TESTE

Caso concorde em colaborar voluntariamente com essa pesquisa, responda as perguntas a seguir.

Suas informações serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa e sua identidade será preservada.

Nº MATRÍCULA: _____ SEXO: ___ IDADE: ___ DATA: _____

VOCÊ LEU O LIVRO... completamente parcialmente não leu.
 LHE PARECEU... interessante desinteressante _____
 APRENDI... muita coisa pouquinho nada

EVOCAÇÕES

Escreva até quatro conceitos (palavra) diferentes relacionados com cada uma das expressões incompletas, abaixo relacionadas. Os conceitos podem ser repetidos desde que não na mesma linha.

Átomo é ...				
Átomo possui ...				
Átomo serve ...				
Átomo lembra ...				

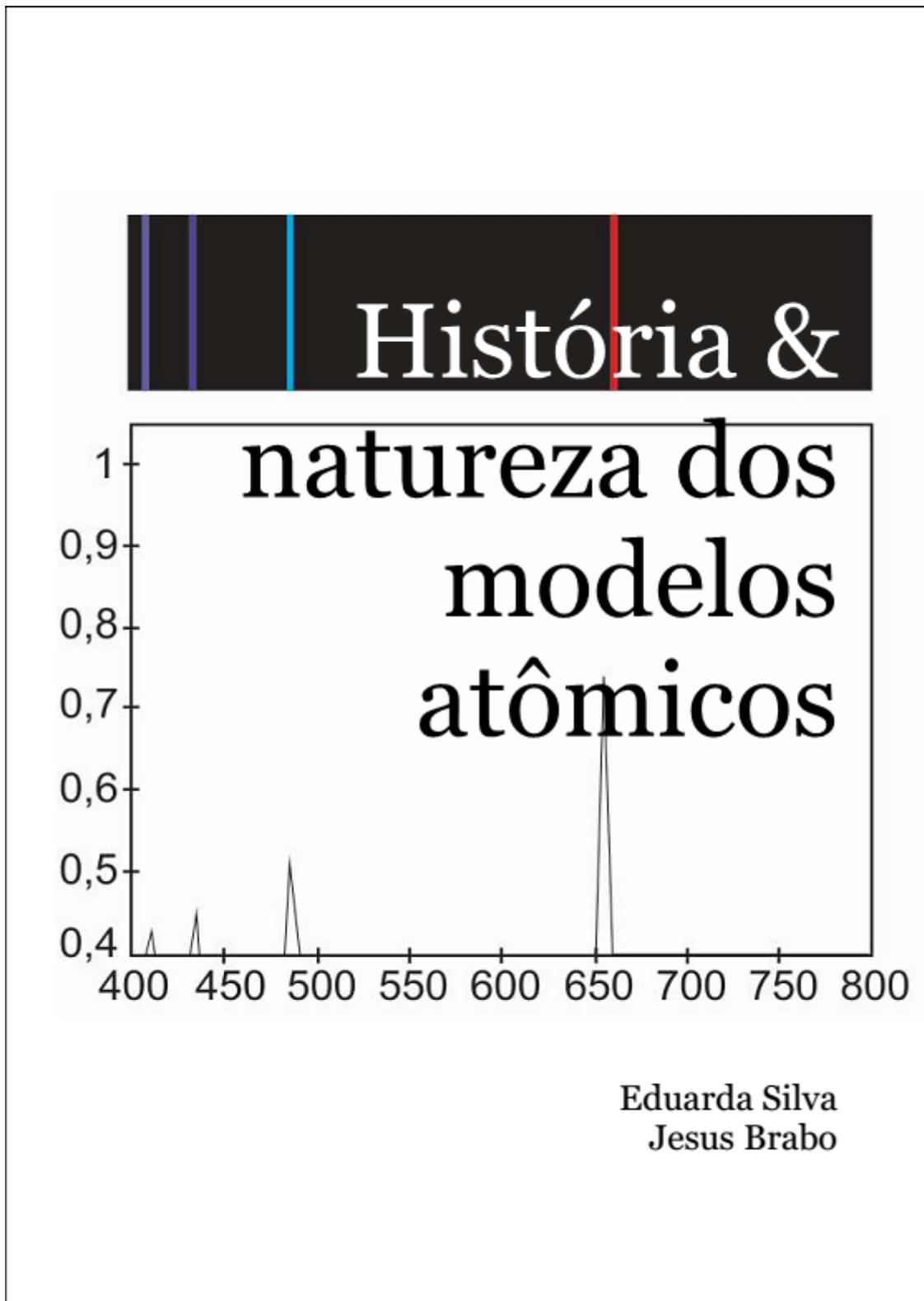
QUESTÕES

1) Após ler o livro, suas opiniões sobre a natureza e existência do átomo mudaram? Justifique.

2) O que mais chamou sua atenção no livro? Por quê?

3) Após ler o livro, você saberia dizer qual o modelos atômico seria capaz de explicar mais apropriadamente os relâmpagos, ou seja, fenômenos luminosos que ocorrem na atmosfera, principalmente durante tempestades?

Agradecemos pela sua colaboração!



SUMÁRIO

Introdução	5
O que sabemos sobre os modelos atômicos?	9
Do átomo grego ao Modelo Atômico de Dalton	11
Da descoberta do elétron ao Modelo Atômico de Rutherford	19
O Modelo atômico de Bohr e a química quântica	25
Lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos	33
Alternativas ao ensino de modelos atômicos.....	47
Referências.....	53

Introdução

Este livro é voltado especialmente para atuais e futuros professores de química. O objetivo principal é estimulá-los a refletir e aprofundar um pouco mais sobre algumas controvérsias relacionadas a história da evolução dos modelos atômicos. Para tanto, aborda questões históricas, filosóficas e epistemológicas adjacentes a esse conhecimento, com vista a proporcionar maior suporte teórico as suas aulas de química para estudantes da educação básica e superior.

Algumas dificuldades têm sido encontradas em aprender e ensinar modelos atômicos. Pesquisas como as de Brabo, Oliveira e Muniz (2013), Taber (2003), Mortimer (2000), Gomes e Oliveira (2007), Santos (2011) e Wartha *et al* (2010) tem mostrado que ocorrências delas mesmo quando os alunos se dedicam a estudar seriamente o assunto.

Entre as principais dificuldades relatadas estão a dificuldades de compreensão da natureza de representação dos modelos atômicos, entendendo-os como uma verdadeira imagem do real, pois no seu ensino não é discutido o papel dos modelos científicos para a construção do conhecimento. Outro problema comum refere-se a concepção equivocada sobre a natureza da ciência que grande parte dos estudantes apresenta.

Aprender sobre modelos atômicos, e outros temas científicos, requer conhecimentos mais gerais sobre o modo de pensar e o fazer científico que podem ser explorados quando se estuda a história da ciência ou de algum conhecimento científico

Introdução

específico. Examinando com atenção a história das teorias científicas podemos notar que ciência não segue uma sequência ascendente de conhecimento, mas que caminha segundo condições culturais, históricas, sociais e econômicas que influenciam nas convenções científicas adotadas. No nosso caso, os modelos atômicos.

Outro aspecto conflitante para os alunos é a diferenciação do comportamento da matéria nos níveis macroscópico e microscópico, onde há uma transferência das características de um nível para o outro, geralmente do macroscópico para o microscópico.

O elevado grau de abstração exigido para a compreensão desses conceitos torna-os propícios a construção de concepções alternativas por parte dos estudantes. Nesse sentido, é necessário que o professor tome conhecimento das ideias prévias de seus alunos e assim planejar melhor as atividades de ensino.

O conteúdo do livro está dividido em seis tópicos. No primeiro, tentamos fazer o leitor refletir sobre as concepções de modelos atômicos que construiu ao longo da sua vida escolar, universitária e social. A fim de estabelecer um ponto de partida para novos conhecimentos que o material se propõe a explorar.

As seções seguintes fazem uma abordagem histórica dos modelos atômicos, relacionando-os com as possibilidades de utilização e os contextos de surgimento de cada um deles. Discute-se aspectos históricos relacionados ao longo período entre as primeiras hipóteses atômicas dos filósofos gregos até o surgimento do Modelo Atômico de Dalton, as descobertas que levaram aos modelos de Thomson e Rutherford e, finalmente o surgimento do modelo de Bohr até a Mecânica Quântica.

Em seguida, em uma tentativa de oferecer condições para o leitor avaliar os modelos atômicos dentro de uma abordagem mais epistemológica, discute-se pontos importantes para o ensino do tema e apresenta-se alguns princípios didáticos que podem ser levados em consideração no planejamento de aulas sobre o assunto.

História e natureza dos modelos atômicos

Por fim, apresentamos ao final do livro algumas atividades experimentais que podem servir como alternativas aos professores no ensino de modelos atômicos numa perspectiva construtivista e mais dialogada.

Introdução

O que sabemos sobre os modelos atômicos?

O conteúdo de modelos atômicos na educação básica, na maioria dos casos, é apresentado no primeiro ano do ensino médio para os estudantes, o qual constitui um dos primeiros assuntos trabalhados na química. Essa organização se estabelece por entendermos que esse tema é um conceito estruturante para o entendimento da química de modo geral. O conhecimento dos modelos atômicos possibilita compreender melhor os outros assuntos da química, como o estudo dos gases, estequiometria, ligações químicas, entre outros.

A química “é a ciência que se propõe a estudar a matéria, suas características, propriedades e transformações”, já vimos esse discurso em muitos lugares. De fato. Quando verificamos que a temperatura de ebulição da água é 100°C , que o cobre e outros metais conduzem corrente elétrica, que os alimentos duram mais tempo quando conservados a baixas temperaturas, estamos considerando o universo macroscópico, o qual está acessível à nossa compreensão. Ao estudar química, nos aprofundamos no universo microscópico dos átomos para compreender como e porque tudo isso acontece.

Atualmente é impossível explicar toda a Química e boa parte da Física sem usar o conceito de átomo. Mesmo que não seja possível observar átomos diretamente, químicos e físicos

O que sabemos sobre os modelos atômicos?

atribuíram a essas entidades importantes propriedades que os ajudam a explicar a estrutura e comportamento do mundo e ainda nos fornecem a base para uma quantidade enorme de tecnologias contemporâneas.

Para efeito de antecipação de questões que serão tratadas neste livro sugerimos que você reflita e tente responder as seguintes questões antes de prosseguir com a leitura:

Você já se perguntou por que estudamos os modelos atômicos? Que resposta você daria a um estudante de ensino médio?

O átomo de fato existe? Como podemos provar sua existência?

É possível ver o átomo? No caso, como ele seria?

É possível separar os elétrons dos átomos? De que maneira? Por quê?

Pense em três ou mais conceitos diferentes relacionados a cada uma das expressões incompletas, abaixo relacionadas. Os conceitos podem ser repetidos desde que não na mesma linha.

Átomo é...

Átomo possui...

Átomo serve...

Átomo lembra...

Do átomo grego ao Modelo Atômico de Dalton

O conceito de átomo passou através de, pelo menos, quatro etapas principais, desde os gregos antigos a teoria quântica moderna. Não seria incorreto dizer que um bom esboço dessa história vai de Leucipo à Linus Pauling.

Em textos como os de Cantore (1969) e Berryman (2008), entre tantos outros artigos e manuais de história da Ciência, é comum atribuir aos filósofos grego Leucipo e Demócrito a ideia de que o mundo é composto de átomos (do grego a [não] + tomos [cortar]). Para tais filósofos, objetos indivisíveis que diferiam um dos outros em tamanho, forma e movimento, que se moviam em uma espécie de vácuo microscópico que não podia ser percebido a olho nu.

Segundo Berryman (2008), as ideias de Leucipo e Demócrito só sobreviveram em relatos de terceiros. Um dos poucos relatos detalhados sobre as ideias desses filósofos sobre a existência de átomos foi escrita pelo poeta romano Lucrécio (2001), que viveu de, aproximadamente, de 99 a 55 a.C. De acordo com seu livro, *De Rerum Natura*, os átomos são, as últimas partículas que constituem a essência de todas as coisas. Os átomos estariam em constante movimento e possuiriam uma

Do átomo grego ao Modelo Atômico de Dalton

grande variedade de formas. Tais formas seriam as responsáveis pelas propriedades observadas nos corpos materiais. Por exemplo, o azeite flui mais lentamente que o vinho, porque os átomos de óleo são maiores e mais intimamente ligados do que os átomos de vinho. Mel e leite possuiriam sabor agradável para a língua por serem compostos por átomos com superfícies lisas e redondas, enquanto substâncias ásperas e amargas consistiam de átomos mais rugosos que arranhariam os órgãos de nossos sentidos. Coisas que são duras e pesadas, como diamantes e ferro, são compostas de átomos que estão ligados entre si mais forte do que os átomos de substâncias leves e moles, como líquidos. De acordo com Lucrécio, as mudanças no mundo poderiam ser explicadas em termos de movimento e formato de átomos, não em termos das ações dos deuses.

Cantore (1969) de forma abrangente resume as principais características do conceito de átomo de Leucipo e Demócrito:

[...] matéria é constituída de partículas últimas, que são intrinsecamente imutáveis e indivisíveis [...] átomos, são extremamente pequenos, corpúsculos rígidos absolutamente idênticos, distintos entre si apenas em forma e tamanho. Coisas macroscópicas diferem umas das outras por causa dessas diferenças irredutíveis entre os átomos das quais são compostas, e também por causa do arranjo mútuo dos átomos entre si. Átomos se movem sem cessar de forma espontânea e aleatória em um vácuo [ou vazio], como poeira, podem ser vistos dançando em um raio de sol, sem vento. Os átomos se reúnem por necessidade ou forma, através de uma espécie de mecanismo de gancho-ilhós, não por forças atrativas. (CANTORE, 1969, p.17).

Os atomistas gregos também propuseram uma espécie de princípio metafísico de conservação de matéria: átomos não podiam ser criados nem destruídos, os constituintes fundamentais do mundo permaneciam tão jovens e imaculados

História e natureza dos modelos atômicos

como quando foram criados (CANTORE, 1969). É importante ter em mente que tais ideias eram opiniões metafísicas sobre a natureza da realidade, e não hipóteses empiricamente deduzidas.

Meleiro (1998) afirma que a questão central das discussões dos filósofos gregos sobre a natureza da matéria era a concepção de estabilidade e movimento (as mudanças). Pois, “o movimento levanta o problema de que algo possa ser, e no momento seguinte, não ser, pois já é outro. Como conceber, desse modo, que haja uma identidade entre o momento anterior e o posterior, visto que o objeto se transforma?” (MELEIRO, 1998).

Demócrito, especialmente, queria provar que a mudança é real e logicamente possível, contrariando as ideias de Parmênides de que toda a mutação era ilusória. Para Parmênides o “não-ser” era apenas uma negação do “ser” (o calor a negação do frio, a escuridão a negação da luz etc.), portanto não faria sentido procurar um “ser-absoluto” [elemento] último das coisas ou mesmo vários “seres-absolutos”, pois para separá-los precisaria haver algo que não fosse um “ser”, e isso é logicamente impossível (CANTORE, 1969). Ou seja, insistir na ideia de existência dos átomos (o que é) era considerar a existência de espaços vazios (o que não é) onde eles estariam distribuídos. Por isso, Parmênides defendia um universo pleno e indivisível.

Como era de se esperar o conceito grego de átomo é claramente muito diferente das modernas teorias da estrutura atômica. O átomo grego não tinha nada a ver com nossos atuais conceitos elemento químico e molécula. Era uma interessante ideia contra intuitiva para a época que, juntamente com as ideias de Platão sobre as formas dos sólidos básicos que comporiam o mundo, acabou um tanto quanto ridicularizada nos escritos de Aristóteles, que por sua vez, acabaram fazendo com que o modelo de cinco elementos (água, ar, terra, fogo e éter), defendido nesses escritos, tivesse uma maior repercussão entre os eruditos, tendo sido, inclusive, usado pelos alquimistas da Idade Média, para explicar e prever o comportamento da matéria e do universo durante séculos.

Do átomo grego ao Modelo Atômico de Dalton

Uma das principais críticas de Aristóteles a teoria atômica de Leucipo e Demócrito se referia ao fato de que se existissem átomos para cada tipo de substância, não haveria possibilidade de transformações químicas, o que evidentemente se choca com as evidências empíricas (HERMOSO e ORNELAS, 2009). A ideia da existência de átomos só viria novamente à tona no século XVII com Gassendi e, definitivamente começaria a ganhar força com Dalton no início do século XIX.

Segundo Cantore (1969) os poemas de Lucrécio e as ideias de Epicuro, outro filósofo grego que defendia uma variante da ideia de átomo, foram redescobertos no século XV a.C. e influenciaram muitos pensadores importantes, incluindo Francis Bacon, Pierre Gassendi, Robert Boyle e William Higgins.

Segundo Filgueiras (2004) Gassendi inspirou-se nas ideias de Epicuro para contrariar a ideia cartesiana de um universo infinitamente divisível sem espaços vazios. Também foi o primeiro a utilizar o termo "molécula" ao descrever um aglomerado de átomos, mas sem o conceito moderno de elemento químico.

Boyle após ter feito muitas experiências e formulado as equações que relacionavam medidas de temperatura e pressão de gases, mencionou a existência de "corpúsculos" constituintes dos corpos, ao invés de fenômenos que não são oriundos apenas de trocas entre as características aristotélicas da matéria (FILGUEIRAS, 2004).

Em meados de 1780, Lavoisier revolucionou a química com o desenvolvimento da teoria combustão do oxigênio, refutando a teoria do flogístico de Stahl, sem, no entanto, apoiar a teoria atômica da matéria. Via os elementos químicos simplesmente como substâncias que não poderiam ser decompostas em outras (FILGUEIRAS, 2004). Sua lista incluía elementos como o oxigênio, hidrogênio, e ferro, mas também luz e calor. Mas seu princípio de conservação de matéria seria decisivo para o estabelecimento da ideia de átomo de Dalton.

História e natureza dos modelos atômicos



Figura 1. Capa do “Tratado Elementar da Química” de Antoine-Laurent Lavoisier, 1789. Escrito em uma linguagem, na época, mais acessível aos químicos iniciantes. Nele, Lavoisier apresentou o resultado de vinte anos de trabalho em seu laboratório (CARVALHO, 2012).

Filgueiras (2004) também descreve que William Higgins, um químico irlandês pouco mencionado em livros de História da ciência, usou o termo “partículas últimas” em um livro publicado em 1789, para se referir as unidades dos elementos propostos por Lavoisier. Neste livro Higgins supunha que as partículas últimas são todas idênticas em peso, como as partículas de enxofre e de oxigênio no dióxido de enxofre. Anos mais tarde, Higgins inclusive chegou uma controversa reivindicação pelo crédito da

Do átomo grego ao Modelo Atômico de Dalton

descoberta da teoria atômica, mas não obteve sucesso. A originalidade dos argumentos utilizados por Dalton para defender a teoria atômica diferia bastante dos usados por Higgins para defender a existência de partículas últimas, apesar de suas hipóteses terem certas similaridades.

Segundo Oki (2009), no início do século XIX, ao estudar a natureza do vapor de água na atmosfera, Dalton conjecturou que a atmosfera é composta de vários gases que se misturavam apenas de forma mecânica, ao invés de estarem quimicamente combinados, como se pensava até então. A fim de explicar por que a água não absorve cada tipo de gás no mesmo caminho, postulou a hipótese de que os gases diferem quanto ao peso relativo de suas partículas últimas (átomos). Em 1808, Dalton generalizou que todos os átomos de um dado elemento são idênticos e têm o mesmo peso invariável, e de que os átomos de diferentes elementos têm pesos diferentes. A principal diferença entre os conceitos antigos de átomos e ideia de Dalton foi sua hipótese de que a propriedade crucial de átomos, seu peso, variava de forma regular (em proporções fixas) com elementos diferentes. As mudanças em relação aos pressupostos de teorias mais antigas (Leucipo, Gassendi e Higgins) não era tão grande, mas forneceu um poderoso e interessante aparato teórico para explicar as características quantitativas do comportamento dos gases e outras substâncias. Para Dalton, elementos como oxigênio eram fundamentais (primários).

Analogamente aos atomistas gregos, Dalton afirmou que os átomos eram minúsculos, discretos, indivisíveis, indestrutíveis e recobertos por uma espécie de camada de calor que, por sua vez, era responsável pela ligação ou repulsão entre os diferentes átomos.

História e natureza dos modelos atômicos

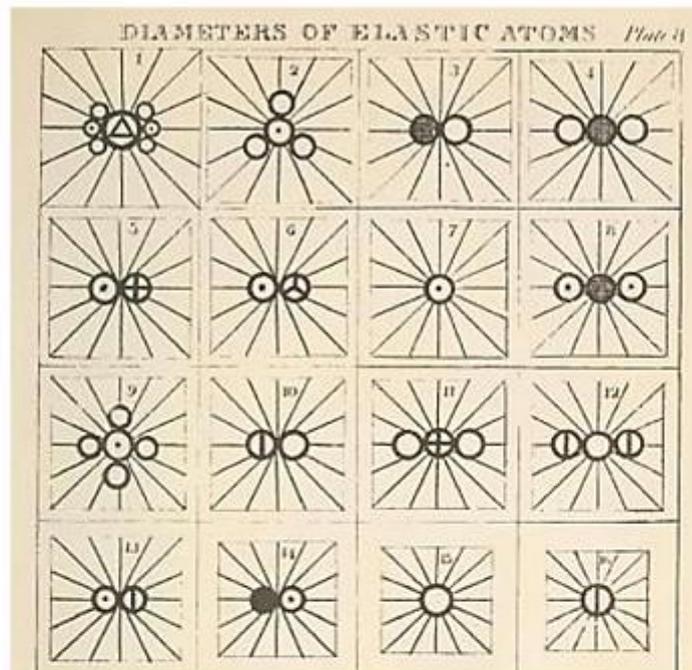


Figura 2. Representação de Dalton para os átomos e moléculas publicadas em seu livro "A New System of Chemical Philosophy". Seu trabalho tinha como foco o estudo da composição da atmosfera. (MELZER E AIRES, 2015).

As ideias de Dalton não foram aceitas com tanto entusiasmo quanto se pode pensar. No início do século XIX, houve grandes controvérsias sobre a natureza dos átomos (OKI, 2009). Somente o aperfeiçoamento dos métodos de determinação de pesos atômicos e o contínuo levantamento das propriedades químicas das substâncias aliados aos esclarecimentos de Canizzaro sobre as diferenças dos conceitos de átomos e moléculas possibilitaram, por exemplo, que Mendeleev desenvolvesse a tabela periódica dos elementos e Kekulé e outros desenvolvessem a teoria da valência que explicava como os átomos se combinavam em moléculas (OKI, 2009).

Do átomo grego ao Modelo Atômico de Dalton

Dalton utilizou as leis da conservação da massa (postulada por Lavoisier) e da composição definida (enunciada por Proust) para nortear seu modelo atômico, fato que garante até hoje a utilidade deste modelo. Não é por acaso que sempre que fazemos um balanço de massa numa equação química (normalmente para efetuarmos cálculos estequiométricos) estamos utilizando o modelo atômico de Dalton.

Da descoberta do elétron ao Modelo Atômico de Rutherford

Uma grande mudança no conceito do átomo viria como resultado da descoberta do elétron e das experiências de Bunsen e Kirchhoff sobre como espectros emissão e absorção de energia podiam ser usados como uma espécie de impressão digital dos elementos químicos (FILGUEIRAS, 1996).

Da observação das regularidades em estudos espectroscópicos de emissão de energia do hidrogênio, tornou-se claro que os átomos possuíam uma estrutura complexa, mas ordenada. Provas decisivas da existência de subpartículas atômicas foram obtidas nos estudos dos chamados raios catódicos que, tal como a luz, se deslocavam em linha reta, mas possuíam momento, transmitiam energia e eram fortemente desviados por um campo magnético. Todavia, essas propriedades eram totalmente independentes da natureza química do gás residual no tubo e do material que constitui o cátodo (FILGUEIRAS, 1996).

A aplicação de ideias sobre eletricidade e magnetismo de Faraday e a observação de que a relação entre carga e massa dos raios catódicos (e/m) se mantinha constante independente do gás residual do tubo, acabou levando, Joseph John Thompson, em 1897, então diretor do Laboratório Cavendish na Universidade Cambridge, a postular que a deflexão dos raios só poderia ocorrer se eles fossem considerados partículas com energia negativa e

Da descoberta do elétron ao Modelo Atômico de Rutherford

com massa bem menor que as massas atômicas dos elementos químicos até então conhecidos.

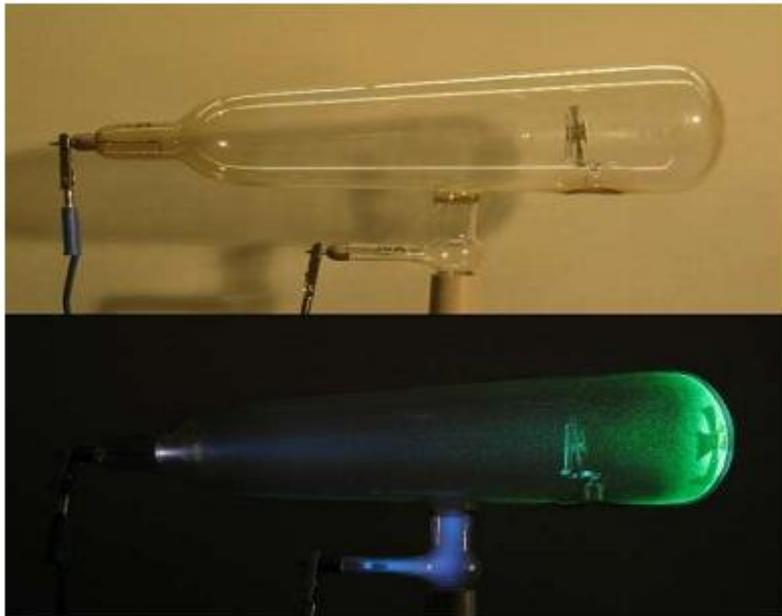


Figura 3. Um tubo de raios catódicos é um tubo de vidro ou quartzo fechado, contendo, em seu interior, um gás a baixa pressão, e com eletrodos em suas extremidades. As descargas elétricas entre o eletrodo positivo (ânodo) e o eletrodo negativo (cátodo) produz raio (SILVA, SANTOS e DIAS, 2011)

Na época, acreditava-se que o hidrogênio fosse a menor partícula existente. Além disso, os raios podiam penetrar a matéria sólida. Vinte anos mais tarde Thompson combinou a descoberta de seus elétrons com a descoberta dos chamados raios canal de Goldstein, que se deslocavam em sentido oposto aos raios catódicos e possuíam uma relação e/m milhares de vezes maior que a dos raios catódicos, para concluir então que átomos podiam ser estruturas complexas com pelo menos dois tipos de componentes menores formando uma esfera homogênea carregado positivamente com elétrons uniformemente

História e natureza dos modelos atômicos

distribuídos em todo o volume dessa esfera, como ameixas em pudim de ameixas (TAVARES, 2011).

De acordo com THAGARD e TOOMBS (2005) o descobrimento desses raios-partículas levaram os cientistas a investigar como ocorria a interação deles com diferentes substâncias sólidas e líquidas, campos magnéticos etc. Trabalhando nos laboratórios de Thompson, Rutherford descobriu, em 1899, que certas substâncias emitiam partículas que denominou de *alfa* e as usou para observar seu comportamento ao atravessar diferentes materiais, entre outros, folhas finas de ouro (por ser um dos poucos metais que poderia ser transformado em lâminas bem finas).

Com isso 1906, após terem desenvolvido instrumentos e técnicas para estudar o espalhamento das então recém descobertas partículas alfa, Rutherford, com ajuda de Hans Geiger e Ernest Mardsen, elaborou uma configuração experimental que consistia em um emissor de partículas alfa, uma folha fina de ouro e várias telas de sulfeto de zinco colocadas em torno do alvo para registrar as deflexões das partículas emitidas.

Os resultados da sua experiência indicaram que 98% das partículas alfa passavam através da folha, enquanto a maioria dos 2% restantes desviava de forma angular e somente uma porcentagem muito pequena, de 0,01%, ricocheteava para trás. Esse resultado contrariava a previsão do modelo de Thompson de que a grande maioria das partículas *alfa* lançadas contra a superfície de metais ricochetearia na rede de átomos do metal (TAVARES, 2011).

Em artigo de 1911, Rutherford propôs seu revolucionário modelo planetário, onde os átomos eram representados por região central positivamente carregada que ocupava um décimo de trilhonésimo do volume total de cada átomo (TAVARES, 2011). As partículas que formavam essa região foram denominadas de prótons, que por sua vez eram responsáveis por quase toda a massa atômica, enquanto as partículas negativamente carregadas, ou elétrons, moviam-se em uma região cuja proporção devia

Da descoberta do elétron ao Modelo Atômico de Rutherford

ocupar um volume extremamente grande do espaço atômico da região ao redor do núcleo. Proporcionalmente, se o núcleo atômico fosse do tamanho de uma bola de gude sua eletrosfera equivaleria a um estádio de futebol do tamanho do Maracanã.

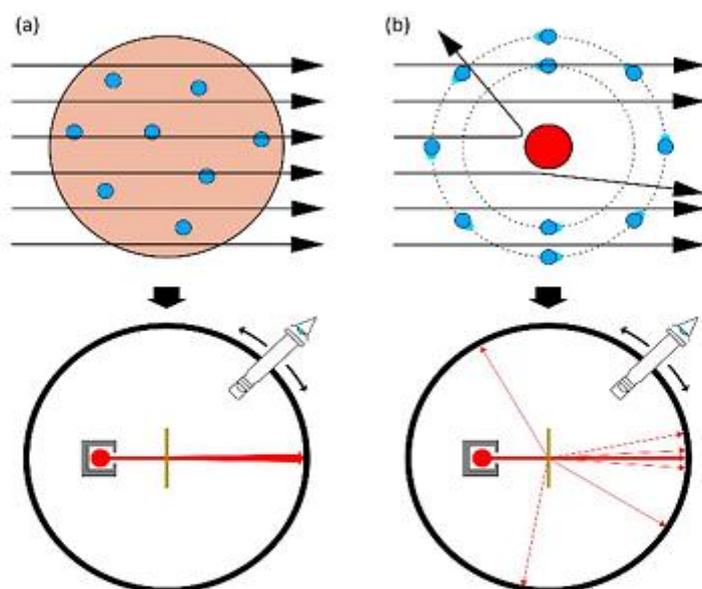


Figura 4. Representação dos resultados para o experimento: (a) segundo modelo atômico de Thomson (b) segundo modelo de Rutherford. (TAVARES, 2011)

Rutherford e sua equipe calcularam que a lâmina fina de ouro, utilizada no experimento de bombardeamento de partículas *alfa*, devia ter aproximadamente mil camadas de átomos para serem atravessadas e a só a existência desse enorme espaço vazio explicava a passagem direta da maioria das partículas alfa lançadas contra as folhas finas de ouro. (TAVARES, 2011). Para explicar o fato dos elétrons não “caírem” no núcleo devido ao princípio de atração de cargas opostas, Rutherford supôs que força centrífuga de movimentação dos elétrons em órbitas

História e natureza dos modelos atômicos

circulares ou elípticas proporcionava o contrapeso suficiente para evitar o colapso e garantir a estabilidade, da mesma forma que os planetas se mantêm girando em torno do Sol.

No entanto, isso não resolvia o problema da estabilidade do átomo, pois, através das aplicações das equações de eletromagnetismo de Maxwell, sabia-se que cargas elétricas aceleradas emitiam energia, e a perda de energia faria os elétrons espiralarem rapidamente em direção ao núcleo, emitindo radiação em todos os comprimentos de onda. Por outro lado, já era conhecido, através dos estudos dos espectros de emissão, que quando os átomos emitem radiação, o fazem somente em certos comprimentos de onda, específicos para cada elemento, e não em todos os comprimentos de onda como as equações do eletromagnetismo previam (TAVARES, 2011).

Assim o modelo de Rutherford permaneceu “inacabado” até que um dos seus alunos propôs uma solução um tanto revolucionária.

Da descoberta do elétron ao Modelo Atômico de Rutherford

O Modelo atômico de Bohr e a química quântica

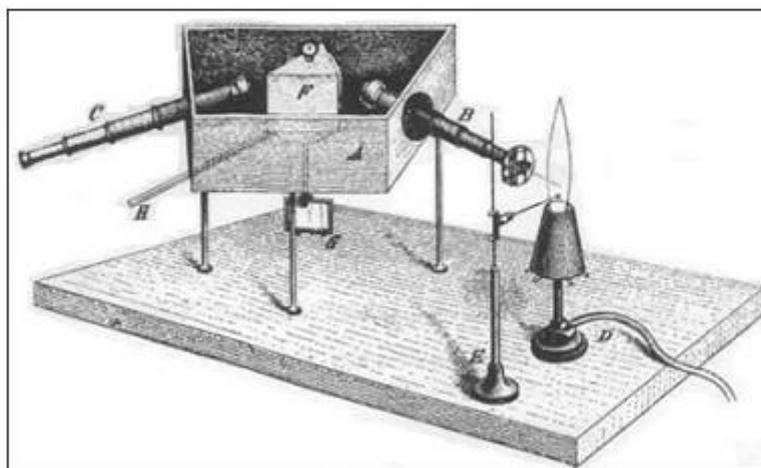


Figura 5: desenho do espectrógrafo inventado por Bunsen e Kirchhoff em meados de 1860, através do qual puderam perceber e registrar as regularidades dos espectros de emissão e absorção da luz, produzidas pelo aquecimento de substâncias na chama de bicos de Bunsen (D), direcionada para um prisma no interior da caixa (F), cuja face oposta era observada com apoio, de uma espécie de luneta (F), o espectro formado pela decomposição do raio luz através do prisma (F). (Fonte da imagem: LARANJEIRAS, 2010)

Os estudos dos espectros de emissão e absorção de elementos químicos foram desenvolvidos em meados de 1860

O Modelo atômico de Bohr e a química quântica

pelos cientistas Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff que, com ajuda de espectrógrafos inventados por eles próprios, perceberam que as linhas espectrais podiam ser usadas como uma espécie de impressão digital dos elementos, descobrindo inclusive novos elementos como o Césio e o Rubídio usando essa técnica (FILGUEIRAS, 1996).

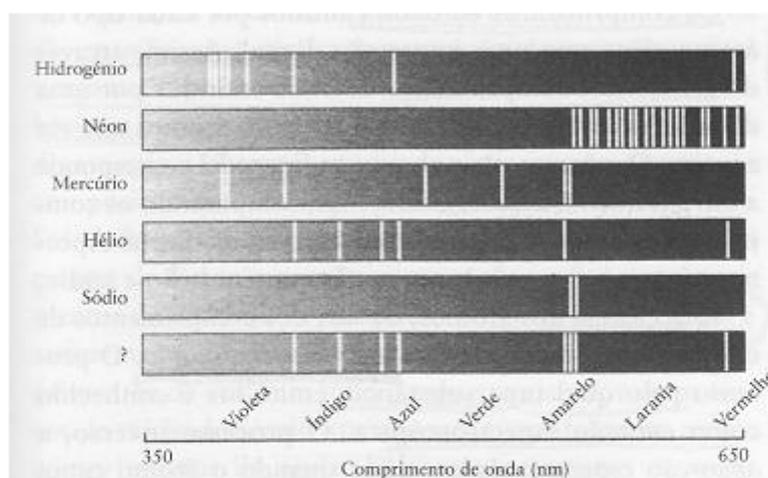


Figura 6: Representação do padrão das linhas espectrais de alguns elementos químicos, entre quais o He e o Ne, descobertos por meio da comparação com espectros de elementos químicos já conhecidos. (FILGUEIRAS, 1996)

Em 1913, em uma tentativa de esclarecer a origem do padrão de emissão de energia de elétrons, Niels Bohr combinou as ideias da estrutura interna do átomo de Rutherford com a quantização de energia das equações para o comportamento de radiações térmicas de Planck, propondo que elétrons giram em torno do núcleo e dão “saltos” entre os níveis de energia, emitindo ou absorvendo energia em forma de luz devido a esses saltos. As equações propostas por Bohr com base nesse modelo estavam de acordo com as energias estimadas a partir dos espectros do hidrogênio e delas foi possível derivar uma expressão empírica

História e natureza dos modelos atômicos

proposta por Balmer que equacionava as distâncias de certas linhas dos espectros do Hidrogênio, chamadas então de série de Balmer. Esse fato foi bastante positivo para a modelo de Bohr, mas não suficiente para torna-lo amplamente aceito pelos cientistas que lidavam com esses problemas (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Já em 1891, Michelson havia relatado que a série Balmer do espectro de hidrogênio não era composta de linhas verdadeiramente únicas. Embora esse detalhe fosse incompatível com a teoria de Bohr, foi ignorado ou não considerado como um argumento de peso por causa da pequena ordem de grandeza em causa (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Mas o modelo de Bohr do átomo tinha uma grande desvantagem, por não explicar os espectros de He^+ e Li^{2+} , muito menos os de metais alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs), que, tal qual o hidrogênio, também possuíam um único elétron de valência.

Segundo Niaz e Cardellini (2011) Sommerfeld, no entanto, considerou a análise de Bohr do espectro do hidrogênio apenas como uma aproximação, já que era baseada em apenas uma condição quântica: a quantização do momento angular. As órbitas dos elétrons de Bohr eram todas circulares, que para Sommerfeld teria sido uma suposição útil, porém muito simplificada. Bohr também reconheceu que sua teoria quântica original estava incompleta no sentido de que, embora tivesse conseguido prescrever frequências, não tinha nada a dizer sobre intensidades e polarizações. Em contraste, Sommerfeld especificou não só a forma da órbita do elétron (que, por analogia com os planetas do sistema solar, poderia ser elíptica em vez de circular), mas também a sua orientação no espaço. Diferente do modelo de Bohr 1913, os elétrons, tais como os planetas de Kepler, moviam-se em elipses e durante suas órbitas cruzavam a região de elétrons mais internos, causando assim o fenômeno de acoplamento dos elétrons registrados nos espectros dos elementos químicos. Em outras palavras, o modelo de Bohr-Sommerfeld considerava o movimento bidimensional do elétron no seu plano orbital.

O Modelo atômico de Bohr e a química quântica

Segundo Niaz e Cardellini (2011), tratando o problema relativisticamente, Sommerfeld mostrou que para cada movimento periódico sob a influência de uma força central, o elétron com de massa m descreve uma roseta ou, mais precisamente, uma elipse com um periélio em precessão, com um dos seus focos no núcleo.

Para núcleo de hidrogênio, com um ponto de carga, as energias de todos os níveis com o mesmo n seria idêntico. Mas para um núcleo de carga igual a três rodeado por uma camada interior de dois elétrons, como Li, um elétron em na órbita circular externa teria de sofrer uma atração líquido de 1, enquanto os elétrons da órbita altamente elíptica iria penetrar na camada mais interna e sentir uma carga aproximando 3 em parte de sua travessia. Assim, as órbitas altamente elípticas teriam uma estabilidade adicional. A órbita S, sendo a mais elíptica de todas no modelo, seria muito mais estável do que demais, como mostra a Figura 5.

O modelo de Bohr-Sommerfeld do átomo com órbitas elípticas foi amplamente aceito pela comunidade científica como uma alternativa mais sofisticada do modelo de Bohr. Sommerfeld desenvolveu estas ideias em seu famoso livro *Atombau und Spektrallinien*, que foi escrito principalmente para estudantes e não para especialistas em física atômica, baseado em cursos ministrados por ele na Universidade de Munique, em 1916-1917, e publicado pela primeira vez em 1919. Esse livro passou por várias novas edições e, por muito tempo, foi considerado uma “bíblia” pelos físicos da teoria atômica (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Mas em pouco tempo surgiu um modelo alternativo ao de Bohr-Sommerfeld que, provavelmente, começou a ser montado quando em 1922 o francês Louis de Broglie apresentou equações que consideravam a dualidade onda-partícula da luz e, no ano seguinte, seria corroborada experimentalmente pelo americano Arthur Holly Compton ao demonstrar que ocorria alterações no comprimento de onda durante a colisão de raios gama com

 História e natureza dos modelos atômicos

elétrons. Tal fenômeno, que ficou conhecido como efeito Compton, poderia ser explicado se assumíssemos que os raios gama são fótons com energia e momento, ou seja, também se comportam como partículas.

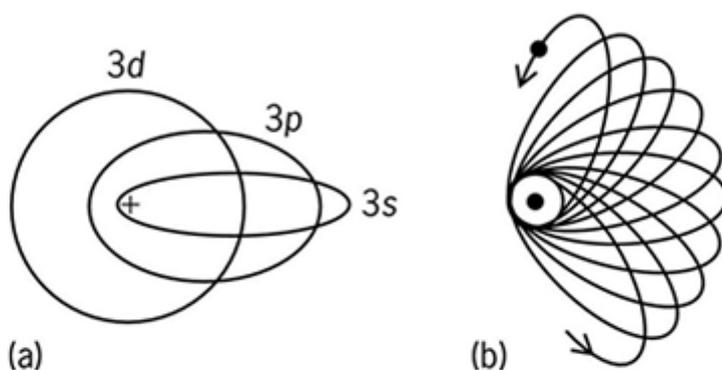


Figura 7. Possíveis órbitas elípticas segundo o modelo atômico Bohr-Sommerfeld (a) as três órbitas permitidas para $n=3$. (b) Precessão da órbita 3s causada pela variação relativística de massa (MCGRAW-HILL, 2002)

Segundo Dubson (2008), no final de 1925, Erwin Schrödinger, então professor de Física na Universidade de Zurique, começou a pensar em desenvolver sua famosa equação de ondas de matéria depois de ouvir, durante um colóquio no qual falava sobre a hipótese de Broglie, a acusação de Peter Debye de que a teoria da dualidade onda-partícula era “infantil”, pois “para lidar adequadamente com ondas era necessário dispor de uma equação de onda”.

Um ano depois Schrödinger apresentou sua equação de ondas de matéria, pressupondo que uma partícula livre (energia potencial = $V = 0$) poderia ser descrita como uma espécie de onda:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(\Psi)$$

O Modelo atômico de Bohr e a química quântica

Dubson (2008b) relata que o físico Paul Dirac afirmou que a equação de Schrödinger é responsável por “grande parte da física e toda a química”. É provavelmente a equação mais importante do século XX. Seu efeito sobre o progresso tecnológico tem sido muito maior do que a mais famosa equação $E = mc^2$.

A equação de Schrödinger é uma equação diferencial de segunda ordem, a qual pode ser aplicada a um sistema como o átomo de hidrogênio, e assim, se calcular os níveis de energias correspondentes Schrödinger foi além de Broglie definindo uma equação que descrevia o comportamento ondular completo de uma partícula, em três dimensões. Os cálculos não apenas forneciam os resultados de Bohr para as energias das raia do espectro do hidrogênio, como pareciam explicar com grande precisão as propriedades dos átomos e moléculas em geral, e, conseqüentemente, abriu as portas para uma descrição matemática de sólidos, líquidos, semicondutores, e assim por diante (DUBSON, 2008b).

Foi justamente o sucesso das numerosas aplicações da mecânica quântica que acabaram justificando seus pressupostos básicos e estabelecendo sua validade científica, uma vez que as ideias de Schrödinger deixaram a comunidade científica bastante intrigada com relação a natureza da função de onda. Qual seria o significado físico de $\Psi(x, t)$? Devemos pensa-la como uma espécie de onda física ou eletromagnética?

Muitas foram as controvérsias em torno dessas e de outras questões que surgiram da análise das implicações da então chamada Mecânica Quântica. O alemão Max Born, no final de 1927 propôs que a função de onda podia ser interpretada como uma espécie de onda de informações. Ela fornece informações sobre a probabilidade dos resultados das medições, mas não fornece qualquer imagem física de “o que realmente está acontecendo.” Bohr, Heisenberg e outros argumentaram que perguntas como “o que realmente está acontecendo” seriam sem sentido (DUBSON, 2008).

História e natureza dos modelos atômicos

O ponto de vista de que a função de onda fornece informações probabilísticas e não uma imagem física da realidade, faz parte da chamada “interpretação de Copenhague” da Mecânica Quântica. Assim chamada por grande parte dela ter sido desenvolvido no Instituto de Física no qual de Bohr era diretor, em Copenhague. Físicos como Einstein, de Broglie e o próprio Schrödinger, entre outros, ficaram insatisfeitos com este ponto de vista e nunca aceitaram a interpretação de Copenhague (DUBSON, 2008b).

Desde então, de acordo como Tsaparlis (2001) todo o esforço em pesquisa em física e química quântica reside na formulação de soluções aproximadas para a equação de Schrödinger, uma vez que soluções exatas não existem, exceto para alguns sistemas simples. Portanto, várias aproximações estão na moda uma vez ou outra, e as que são boas para hoje podem não o ser para amanhã. Uma coisa, porém, é certa: a equação Schrödinger ainda será válido e ainda será o ponto de partida para qualquer nova melhoria.

Dando prosseguimento aos trabalhos de aplicação da modelo quântico, na década de 1930, Linus Pauling desenvolveu a teoria quântica de ligações químicas, na qual os átomos são reunidos em moléculas por interações dos chamados orbitais atômicos e moleculares. Em 1932, James Chadwick introduziu o conceito de nêutrons, partículas subatômicas eletricamente neutras, que ajudaram a explicar a estabilidade dos prótons no núcleo do modelo atômico atual (DUBSON, 2008b). Pouco tempo depois a continuação dos estudos indicou que os prótons e nêutrons também eram formados a partir de partículas ainda mais fundamentais, léptons e quarks, que hoje são teorizadas pelo chamado Modelo Padrão de Física de Partículas (MOREIRA, 2009).

O Modelo atômico de Bohr e a química quântica

Lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos

Usar a história e filosofia da ciência para ensinar conceitos e atitudes científicas de forma mais consistente é uma estratégia recomendada por muitos pesquisadores da área de ensino (MATHEWS, 1994; TABER, 2010; NIAZ e CARDELLINI, 2011). Matthews (1994), por exemplo, comenta que, ao contrário do que muitos professores de ciências imaginam, a filosofia não estaria tão distante em qualquer aula de ciências. Em um nível mais básico, qualquer texto ou discussão científica contém termos como lei, teoria, modelo, explicação, causa, verdade, conhecimento, hipótese, confirmação, observação, evidência e idealização. Para Matthews (1994) a filosofia aparece quando alunos e professores param e refletem sobre os conceitos que estão lidando, indagando-se: o que tipo de coisas podem ser conhecidas? Como podemos entendê-las? Essas coisas realmente existem no mundo? Quais são relações possíveis entre elas?

Como um pouco de ajuda da história da ciência podemos notar que, diferente do que muitos pensam, as leis científicas são construções epistemológicas e não descrevem o comportamento dos corpos reais. Por exemplo, a lei de Galileu de queda livre, as leis de Newton, e as leis dos gases, descrevem o comportamento

de corpos ideais que são abstrações da evidência da experiência e as leis são verdadeiras apenas quando um número considerável de fatores perturbadores é eliminado (KRAGH, 2015).

Niaz e Cardellini (2011), argumentam que constatações como essas são instigantes ideias para fomentar o entendimento conceitual e não apenas regurgitação de detalhes experimentais. Curiosamente, a maioria dos educadores de ciência concordam que, dos vários aspectos da NdC, talvez um dos mais importantes é justamente a natureza experimental do conhecimento científico.

O átomo é um dos conceitos que possui potencial extraordinário para ilustrar e debater aspectos históricos epistemológico da ciência, já que passou por inúmeras mudanças na história da química, principalmente a percepção de que átomos eram divisíveis e tinham estrutura interna (THAGARD e TOOMBS, 2005).

Como vimos no capítulo anterior, a história da estrutura do átomo desde o final do século XIX e início do século XX mostra que os modelos de Thomson, Rutherford e Bohr evoluíram em rápida sucessão e tiveram que lidar com modelos competindo em programas de investigação rivais. Esse período da história da estrutura do átomo tem sido objeto de um amplo debate e controvérsia na história e filosofia da ciência literatura (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Agora, fazendo uma análise retrospectiva podemos notar que modelos científicos que acabaram prevalecendo, gradativamente, aumentaram em sua heurística e poder explicativo. Ou seja, o modelo de Rutherford proporcionou maior poder explicativo em comparação com o modelo de Thomson, o que não significa que o modelo atômico de Thomson estava completamente errado. Da mesma forma, o modelo de Bohr proporcionou maior poder explicativo em comparação com o modelo de Rutherford, o que, novamente, não significou que Rutherford estava completamente errado. Isto mostra precisamente a natureza experimental do conhecimento científico e sua importância foi reconhecida para a educação científica. Da

História e natureza dos modelos atômicos

mesma forma, atualmente, se a teoria da gravitação de Einstein for substituída por uma versão da teoria das cordas, isso não significa que Einstein estava errado, mas que o seu âmbito de aplicação foi melhor definido (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Popper (2004) e Lakatos (1998) tem mostrado que, ao longo da História toda teoria científica acaba sendo mais ou menos errada, e que a objetivo da busca da verdade é inalcançável mas extremamente útil para o cientista. Esses mesmos autores usam a história da ciência para mostrar que o progresso científico não é se dá apenas com base em acumulação de dados experimentais, como pensavam os empiristas dos séculos XVIII e XIX, mas que é altamente dependente da imaginação criativa da comunidade científica e elaboração de argumentos racionais.

Na história dos modelos atômicos essa combinação de criatividade e argumentação pode ser ilustrada pela contribuição de Sommerfeld na proposição do modelo atômico de Bohr-Sommerfeld, que vale a pena discutir um pouco mais detidamente.

Como vimos, os modelos de Thompson e Rutherford representaram uma mudança surpreendente no conceito de átomo, uma vez que, os modelos desde Leucipo até Dalton eram, por definição, indivisíveis. Em terminologia filosófica, era uma verdade analítica *a priori* que os átomos eram indivisíveis, mas os experimentos de Rutherford refutaram a indivisibilidade atômica em favor da teoria nuclear (THAGARD e TOOMBS, 2005).

Bohr, por sua vez, de forma muito criativa, usou as ideias de Rutherford para explicar linhas espectrais, que, na época, já se sabia que estavam intimamente associadas a identidade dos elementos químicos. O espantoso sucesso de seu modelo em prever as energias das linhas espectrais do hidrogênio, foram tão promissoras que convenceram outros cientistas de renome da época a apostar no desenvolvimento dessas ideias, mesmo diante da incapacidade dela de prever corretamente as linhas espectrais dos demais elementos.

Arnold Sommerfeld propôs uma forma engenhosa de salvar a teoria de Bohr. Sugerindo que diferentes órbitas dos elétrons em torno do núcleo poderiam elípticas ou circulares. Com isso, explicou as diferenças na estabilidade dos níveis, com o mesmo número quântico principal, n , em termos da capacidade das órbitas altamente elípticas trazerem o elétron para mais próximo do núcleo, proporcionando uma estabilidade teórica e um poder de previsão das energias das linhas espectrais bem maior do que o modelo de Bohr (Figura 5).

Ainda assim o modelo de Bohr-Sommerfeld era limitado, pois não podia explicar muitas linhas espectrais observadas e fazia previsões de linhas que nunca apareceram. Para cada sucesso do modelo, havia uma falha ou anomalia. Foi então que algumas dessas dificuldades foram resolvidas pelo princípio de exclusão de Pauli, que não só representou uma solução para as lacunas existentes, quanto reformulou a teoria do sistema periódico de elementos e antecipou fatos então desconhecidos, colocando modelo de Bohr-Sommerfeld numa base mais sólida (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

Essas engenhosas ideias de Sommerfeld e Pauli para “salvar” o modelo de Bohr, ilustram muito bem natureza tentativa de modelos científicos. Infelizmente, muito poucos livros didáticos de química geral mencionam o modelo de Bohr-Sommerfeld, muito menos se referem à natureza tentativa de modelos.

Epistemologicamente as ideias de Sommerfeld e Pauli são o que Lakatos (1998) chama de hipóteses auxiliares, de grande importância na filosofia da ciência. Para Lakatos, ao contrário do que refutacionistas ingênuos imaginam, o aparecimento de evidência empírica contrária às previsões de uma teoria não refuta imediatamente uma teoria. Pelo contrário, os cientistas tentam introduzir hipóteses auxiliares, a fim de proteger o “núcleo duro” das suas formulações teóricas.

Neste contexto, o princípio de exclusão de Pauli foi uma tentativa de evitar a refutação do modelo de Bohr-Sommerfeld do

História e natureza dos modelos atômicos

átomo. O papel das hipóteses auxiliares foi também reconhecido por Popper (2004), desde que sirvam para aumentar o grau de falsificabilidade da teoria. Isto contrasta com as apresentações de livros didáticos, que geralmente argumentam que as evidências empíricas podem inequivocamente refutar uma teoria.

O princípio de exclusão de Pauli foi uma hipótese auxiliar para “proteger” o modelo de Bohr-Sommerfeld, da mesma forma que as órbitas elípticas de Sommerfeld também desempenharam um papel semelhante ao evitar a refutação completa do modelo de Bohr. Isso mostra mais uma vez que os cientistas, às vezes, ignoram certos dados que refutam as teorias que estão trabalhando, como também tentam apresentar novas hipóteses (ou seja, hipóteses auxiliares) para proteger uma teoria com algum potencial explicativo (NIAZ e CARDELLINI, 2011).

A combinação de dados empíricos espectrais e argumentação lógica-matemática típicas dos modelos de Bohr, Sommerfeld, Pauli e outros pesquisadores do início do século XX, abriram caminho para a produção de hipóteses ainda mais contra-intuitivas, tais como a teoria quântica e seus desdobramentos. Que, desde então, tem sido foco de intensos debates epistemológicos que, portanto, também merece um pouco de reflexão.

Os seres humanos vivem no nível macroscópico, razoavelmente descrito pela mecânica clássica, e nossos cérebros evoluíram para descrever corretamente fenômenos macroscópicos (clássicos). Quando perguntamos “o que está acontecendo?”, estamos na verdade pedindo uma explicação em termos que nosso cérebro pode processar, ou seja, uma explicação clássica. A mecânica quântica mostra um mundo microscópico fundamentalmente diferente do mundo clássico de grandes objetos aos quais estamos habituados a observar, por isso modelos internos de nossos cérebros simplesmente não se aplicam ao nível dos átomos. Segundo Dubson (2008) não pode haver nenhuma esperança de entender “o que realmente está acontecendo” nos átomos porque os nossos cérebros não são

construídos para esse trabalho. Tudo o que podemos saber são os resultados de medições feitas com instrumentos macroscópicos.

Isso parece-nos paradoxal. Por que as coisas são tão diferentes se pertencem a mesma realidade física? Autores como Dubson (2008), Taber (2010) e Kragh (2015), defendem que esse paradoxo ocorre justamente porque as leis científicas de fato não são absolutamente reais, embora, possam explicar de maneira lógica e útil a realidade que percebemos.

Isso pode ser observado em um exame rápido nas principais teorias científicas clássicas. A segunda a Lei de Newton, por exemplo, apesar de sua utilidade e coerência, tem um regime de validade limitado. Se você considerar objetos em velocidade muito alta (próxima a velocidade da luz) ou muito pequenos (microscópico, atômico), esta “lei” fará previsões que não podem ser empiricamente observadas. No entanto, dentro de seu regime de validade, essa e outras leis da mecânica clássica, são apropriadamente corretas. Funcionam tão bem que podemos usá-las para prever o tempo de um eclipse solar com centenas de anos de antecedência. Podemos enviar uma sonda a Plutão e vê-la chegar bem no alvo, no horário previsto, oito anos após o lançamento. Desse modo para Dubson (2008) a mecânica clássica não é errada; é apenas incompleta.

O caráter convencional das teorias científicas é facilmente identificado quando as submetemos a uma análise metódica. A mecânica clássica não-relativística, por exemplo, se baseia em um conjunto de proposições chamados axiomas, postulados ou leis. Leis ou postulados são declarações que são apresentados sem provas. Não podem ser provadas. Acreditamos que elas sejam verdadeiras, porque suas previsões são verificadas experimentalmente. $F = m \cdot a$, por exemplo, é um postulado. Não pode ser comprovado a partir de relações mais fundamentais (Kragh, 2015).

O modelo atômico, atual baseado na mecânica quântica, também contém esse tipo de elemento argumentativo. O uso de postulados mecânica quântica foi uma nova (e aparentemente

História e natureza dos modelos atômicos

necessária) maneira de prever o comportamento de objetos microscópicos. Mesmo que muitos deles sejam altamente contra-intuitivos, tal como: (i) muitos aspectos do mundo são essencialmente probabilísticos, não determinísticos e (ii) alguns aspectos do mundo são essencialmente descontínuos (DUBSON, 2008)

Como vimos, na mecânica quântica o estado de um sistema físico é completamente descrito por um objeto matemático complexo, chamado de função de onda Ψ (psi). A qualquer momento, a função de onda $\Psi(x)$ assume um valor único, contínuo e normalizado. O resultado dos cálculos não prevê a localização exata da partícula, em vez disso, fornece a probabilidade de que certa posição da medida energia a ser detectada. Ou seja, enquanto na mecânica clássica, a partícula tem sempre uma posição precisa, definida – mesmo que você não se preocupe em medir a sua posição – na mecânica quântica, a partícula não tem uma posição definida, até você medi-la.

Em contraste com a mecânica clássica, a equação de onda não descreve a dinâmica da partícula (como ela se movimenta, ou mais simplesmente, “o que ela faz”). Com essas soluções podemos somente fazer previsões probabilísticas sobre a ocorrência de um dado evento e determinar médias das variáveis associadas às quantidades físicas de interesse. A conexão da teoria com o mundo atômico e molecular se faz através de diferenças de energia entre os estados de um sistema; essas diferenças de energia podem ser associadas às linhas ou bandas nos diferentes tipos de espectros, ou determinadas como entalpias no caso de reações (HERMOSO e ORNELLAS, 2009).

O sucesso das aplicações acabou tornando Mecânica Quântica em uma teoria fundamentalmente probabilística. Esta indeterminação foi profundamente perturbadora para alguns cientistas que se ocuparam em analisá-la.

De acordo como Dubson (2008) Einstein e o próprio Schrödinger nunca ficaram satisfeitos com postulado (i). Einstein, particularmente, nunca aceitou a mecânica quântica como uma

Lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos

teoria completa. Acreditava que, mesmo que as previsões da mecânica quântica estivessem corretas, a função de onda não continha todas as informações que descrever um estado físico. Para Einstein devia haver “variáveis ocultas”, para além da função de onda, que, quando descobertas, tal como na mecânica clássica e relativística, permitiriam o cálculo exato, determinista do resultado de qualquer medida.

Mesmo com todas essas controvérsias ainda sem solução definitiva, o conhecimento de Química Quântica é hoje um componente fundamental na formação dos estudantes de Química, pois a compreensão contemporânea de fenômenos químicos e físicos sob uma óptica microscópica requer necessariamente uma abordagem quântica. (HERMOSO e ORNELLAS, 2009).

O modelo quântico avançou tanto que modelagem computacional permite até mesmo tornar os átomos “observáveis”, em um sentido mais amplo, quando imagens deles podem ser obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Embora, na verdade, as imagens que vemos na tela do computador sejam resultados dos cálculos das equações quânticas usadas para interpretar dados coletados por instrumentos que, por sua vez, também supõem outras teorias científicas. Ou seja, o que estamos vendo ainda é os resultados de um conjunto de convenções científicas úteis, não de uma realidade absoluta.

Mas se teorias científicas não são, em última análise reais, o que são afinal? Thagard e Toombs (2005) defendem que entidades como átomos, buracos negros, e genes, devem ser tratados exclusivamente como entidades teóricas e conceitos que se referem a eles como conceitos teóricos. Uma parte crucial da pesquisa científica envolve a produção e aperfeiçoamento de tais conceitos, que classificam objetos não-observáveis. Nesse caso, a categorização, seria mais que o ato de dividir as coisas do mundo com base em características observadas nelas. Incluiria a criação de explicações profundas de como o mundo parece por meio de hipóteses sobre propriedades de entidades não

História e natureza dos modelos atômicos

observáveis. E isso não é recente, os gregos antigos, por exemplo, como vimos, formularam o conceito de partículas elementares chamadas átomos para fim de explicar muitos fatos sobre o mundo natural.

O desenvolvimento do conceito de átomo implicou na produção e aperfeiçoamento dos conceitos tais como molécula e elemento e, hoje, como defendem Thagard e Toombs (2005), podemos dizer que:

1. São conceitos cruciais paracategorizar o mundo;
2. São hipóteses úteis, ao invés de categorias geradas por observação direta (tais como cães, gatos etc.);
3. São permanentemente passíveis de revisão;
5. Os conceitos de átomo, molécula e elemento estão teoricamente entrelaçados: mudam em conjunto com a respectiva teoria da matéria do qual fazem parte.
4. Mudanças conceituais no significado de átomos, moléculas ou elementos resultam em uma alteração significativa na teoria como um todo;
6. O significado desses conceitos é uma função tanto as relações entre eles quanto das relações indiretas com mundo, através de experimentos.
7. A educação científica e, possivelmente, também a psicologia do desenvolvimento, devem estar atentos à complexidade da mudança conceitual dessas e outras entidades teóricas.

Diante dessas constatações Thagard e Toombs (2005) defendem que natureza da estrutura do conceito do átomo pode ser melhor explicada pela chamada abordagem de conhecimento, de acordo com a qual, os conceitos são parte de nosso conhecimento geral do mundo, e são aprendidas como parte da nossa compreensão global do mesmo. Nessa visão, os conceitos não são apenas uma questão de exemplos ou de características típicas observadas, mas também têm um papel explicativo crucial.

Lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos

Por exemplo, o conceito de cão, inclui características que explicam por que e como os cães se comportam e o que eles fazem.

Thagard e Toombs (2005) argumentam que a maioria das teorias científicas são representações mentais de mecanismos que fornecem explicações. As representações podem ser pictóricas ou verbais. A imagem do átomo núcleo de prótons rodeados por elétrons é uma parte tão importante da teoria nuclear quanto sua descrição verbal ou matemática. Os mecanismos são sistemas de conceitos ligados uns aos outros de maneira a produzir mudanças regulares. Com isso declarações sobre um evento consistem em descrever um mecanismo, de tal maneira que o evento é produzido pelas interações das partes desse mecanismo. Essa herança devemos aos gregos antigos, que ao invés de depender de explicações teológicas ou teleológicas, perceberam a possibilidade de construir analogias entre as máquinas construídas por seres humanos – como alavancas e rodas – e fenômenos naturais, tais como o movimento dos objetos. Para Thagard e Toombs (2005) todas as explicações produzidas ao longo dos vários estágios de evolução das teorias atômicas são mecanicistas desta forma.

As teorias atômicas gregas davam diferente significado ao conceito de átomo relacionando-o a outros conceitos, tais como forma, movimento, divisibilidade, e depois – com os cientistas do século XIX e XX, próton e elétron. Mais na ciência, não basta a coerência lógica relações entre os diversos conceitos de uma teoria, é necessário haver uma relação com o mundo percebido por nós, direta ou indiretamente.

Como vimos em capítulos anteriores, alguns pesquisadores da área de ensino de ciências têm relatado problemas que tanto crianças quanto alunos mais velhos em compreender e usar adequadamente o moderno conceito científico de átomo.

Estudos sobre aprendizagem de modelos atômicos como os de Griffiths e Preston (1992) e Harrison e Treagust (2001), argumentam que considerando que foram necessários mais de

História e natureza dos modelos atômicos

dois milênios para a teoria atômica evoluir, não surpreende que os alunos sintam dificuldades em compreender significativamente conceitos importantes como átomo, molécula e elemento. No entanto, a aquisição desses conceitos é uma parte essencial para alcançar a capacidade de explicar cientificamente o Mundo e os seus constituintes.

Por isso, muitos educadores de ciência, tais como Tsaparlis (2001), Taber (2010) e Niaz e Cardellini (2011), argumentam que para adquirir conceitos científicos, os alunos devem ter a oportunidade de discutir esses conceitos e suas aplicações durante um período relativamente prolongado de tempo. Já que aprendizagem é um processo evolutivo que não ocorre da mesma forma entre todos os alunos. Além disso, a instrução deve incluir debates entre modelos e métodos alternativos. Tsaparlis (2001) defende que abordagem histórica, juntamente com a variedade de apresentações atuais para a mecânica quântica, que representa a abordagem mais contemporânea sobre o átomo, poderia servir como objetivo de aprendizagens significativas. Mas, para isso parece imprescindível, como vimos, incluir a apresentação e discussão de argumentos históricos-epistemológicos.

Afinal o átomo existe? Essa é uma pergunta que está intimamente relacionada a pergunta epistemológica mais abrangente "O que existe?". O conceito de existência, ou o aspecto ontológico das coisas – como alguns filósofos denominam – ainda é uma questão sem resposta definitiva, objeto de controvérsia filosóficas muitos interessantes (OKASHA, 2007).

Mesmo que não que possamos responder a essa pergunta, podemos fazer (e inconscientemente fazemos) escolhas de como encarar o mundo. Se tratarmos de questões do senso comum, certamente não teremos problemas em adotar uma perspectiva realista das coisas. Mas quando tratarmos de conhecimentos científicos essa perspectiva certamente não será muito apropriada.

Lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos

Depois de tudo que foi discutido nos tópicos anteriores, parece-nos muito oportuno, racional e filosoficamente apropriado adotar uma perspectiva instrumentalista (ou convencionalista) de conhecimento científico defendida por Taber (2010) e Kragh (2015).

Segundo Taber (2010), o valor da adoção de uma perspectiva instrumentista no ensino de Química está na possibilidade de ensiná-la como um conjunto de modelos de diversos níveis de sofisticação e com diferentes intervalos de aplicação. Embora isso certamente não seja uma solução imediata para as muitas dificuldades de aprendizagem que os alunos possuem sobre o assunto.

Os alunos tendem a ser realistas sobre a ciência e são susceptíveis de nos perguntar qual o modelo é realmente a verdadeira representação da realidade. A questão se essa atitude realista é um subproduto da maneira como falamos de ciência em sala de aula pode até ser um interessante objeto para futuras investigações. Mas certamente, evitar falar de átomo, moléculas, orbitais hibridizados, estruturas de ressonância etc. como se estivéssemos falando de entidades “reais” tornaria nossa linguagem um tanto quanto desajeitada. Imaginem se ao invés de falar de átomos como “bolas de bilhar”, usássemos “as regularidades percebidas na minha experiência do mundo que interpreto como uma classe de objetos que me parece ter propriedades suficientemente semelhantes e regulares para justificar a atribuição provisórias semelhantes categorias de bolas de bilhar”! Seria uma maneira tão complicada de se comunicar que seria inútil para diminuir a dificuldades de compreensão de experiências e teorias nas aulas de química.

No entanto, como já foi mencionado, é cada vez mais claro que a educação científica deve envolver aprendizagem sobre a ciência, ou seja, a natureza da ciência, bem como aprender alguma ciência. Alfabetização científica para uma democracia tecnológica moderna significa a compreensão da forma como a ciência funciona. Isso envolve a apreciar tanto o carácter

História e natureza dos modelos atômicos

provisório da ciência, como a consciência de que diferentes cientistas podem discordar racionalmente sem desacreditar a ciência, e ainda sustentar a crença que ciência oferece conhecimento confiável que justifica a nossa confiança, pois fornece uma maneira de entender o mundo que têm sido amplamente corroboradas. Para isso, os alunos precisam entender que as teorias não são fatos definitivamente comprovados, e os modelos não são réplicas em escala.

A Química, particularmente, oferece o assunto ideal para ensinar os jovens sobre a variedade, a natureza e papel de modelos: sobre o seu valor como ferramentas de pensamento, mas também sobre como eles só permitem inferências dentro de certos limites de aplicação.

O exemplo de modelos submicroscópicos de matéria, oferece um contexto para o desenvolvimento dessas ideias; assim, por exemplo, em vez de ensinar os alunos que as partículas são esferas rígidas pequenas, ou que os átomos têm camadas de elétrons, devemos ensinar-lhes que os cientistas desenvolveram esses modelos como formas de dar sentido a uma série de propriedades físicas e químicas, e continuaram a usar esses modelos onde até onde serviam de bons guias para prever o comportamento do material. A medida que foram identificadas as limitações, esses modelos foram sendo substituídos ou reservados a problemas mais simples, desde que possam ser considerados casos particulares incompletos das teorias mais sofisticadas. Desta forma, um modelo "orbital" do átomo pode ser entendido pelos alunos como um modelo mais sofisticado necessário para completar o modelo de "camadas" para algumas finalidades: contornar problemas que surgiram com a descoberta de novos fatos, desenvolvimento de novos instrumentos ou mesmo da combinação de elementos teóricos anteriormente não imaginados.

Ao introduzir os tipos de ligação química, é possível ilustrar as limitações da dicotomia covalente-iônico desse modelo de ligação, comparando-o tal tarefa a de classificação em contexto

Lições e importância da história e filosofia da ciência no ensino de modelos atômicos

mais familiar, tal como a de esportes olímpicos (TABER, 2010), uma vez que a tentativa de classificar os atletas em certas categorias se revela imperfeita. Atletas do pentatlo e decatlo compartilham características comuns a ambas as categorias (semelhante a ligações polares). Nadadores e ginastas são excelentes atletas, mas, como ligações metálicas, não se encaixam em nenhuma das categorias do atletismo não seriam adequadamente descritos pelo modelo dicotômico simples. O modelo de ligação covalente-iônico muitas vezes pode ser um esquema de classificação útil, a analogia com a categorização de atletas para pode fazer alunos compreenderem de forma mais clara que se trata de uma ferramenta útil, embora possua uma gama limitada de aplicação.

Através de tais abordagens de ensino como essa, a confusão de modelo em química pode ser substituída por uma apreciação de que a aprendizagem muitas vezes envolve a domínio de uma sequência de incrementos modelos, que oferecem um poder explicativo cada vez mais desafiador do ponto de vista de sua abrangência de aplicação.

Segundo Taber (2010), compreender a química desta forma permite que os alunos apreciem como modelos históricos, agora desacreditadas, podem ser considerados úteis para o desenvolvimento do conhecimento atual. Saber como os modelos progrediram podem contribuir mais significativamente para a sua própria aprendizagem de novas formas de pensar. Além de tudo isso, tomar consciência desse percurso histórico também poderá ensinar-lhes algo da emoção do desafio intelectual de construção, teste e desenvolvimento de modelos em química e outras ciências. Para Taber (2010) uma abordagem instrumentista ao ensino e aprendizagem pode ser tanto pedagogicamente adequada quanto filosoficamente consistente com abordagens construtivistas da educação em Química.

Alternativas ao ensino de modelos atômicos

Diante do desafio de ensinar os modelos atômicos, apresentamos agora uma sequência de três experimentos como sugestão de atividades que você pode incorporar ao seu planejamento. De acordo com a sua necessidade e interesse, essas atividades experimentais podem servir como instrumento para promover uma discussão coletiva, onde os estudantes terão oportunidade de levantar hipóteses, argumentar e fundamentar suas decisões, além de elevar a motivação dos alunos para o estudo do tema.

Você pode até já ter visto algum experimento que estamos sugerindo, todavia, neste caso, eles serão utilizados com finalidade diferente. Cada situação apresentada se constitui de um momento onde o estudante pode formular explicações a nível microscópico para fenômenos onde só observamos os efeitos macroscópicos. O objetivo dos experimentos, de modo geral, é mostrar ao estudante que cada situação se configura como um contexto de aplicação para modelos atômicos diferentes e que é perfeitamente adequado se valer de qualquer um deles, mesmo os mais simples.

Nas atividades apresentadas, procuramos utilizar procedimentos de realização simples que empregam materiais alternativos de fácil aquisição. Contudo, isso não diminui a riqueza das experiências que eles podem proporcionar.

Experimento 1 - A bexiga na garrafa

O experimento a seguir pode ser usado para introduzir a discussão sobre hipóteses para explicar fenômenos em termos de movimentação de partículas invisíveis a olho nu. Fazendo com que os estudantes reflitam sobre possíveis explicações para fenômenos contra intuitivos.

Descreva e realize o experimento passo-a-passo e em seguida apresente e discuta as questões propostas (e outras que eventualmente surgirem).

Alternativamente você pode assistir e mostrar para os alunos o experimento em vídeo disponível em <https://youtu.be/qipY5qVCtCA>

Material necessário:

- Uma garrafa de vidro limpa
- Uma bexiga
- Um funil
- Água, em quantidade correspondente ao volume da garrafa
- Uma panela ou recipiente que possa ser aquecido
- Uma fonte de calor para aquecer a água (fogão doméstico)

Como realizar:

- Aqueça a água até a fervura
- Com a ajuda do funil, encha a garrafa com a água quente lentamente, com cuidado para não espirar água em você.
- Deixe a água na garrafa por cerca de 1 minuto e depois esvazie, tome cuidado, pois a garrafa estará muito quente
- Logo em seguida coloque a bexiga na boca da garrafa
- Observe o que acontece nos próximos 4 minutos

História e natureza dos modelos atômicos

- Agora que você já fez o experimento e observou vamos tentar explicar o que aconteceu com a matéria que permitiu o fenômeno que foi observado e discutir sobre o que pode ter ocorrido na situação que foi vivenciada.

Questões

1. Considerando o que foi observado no experimento acima, proponha um modelo para a matéria de dentro da garrafa antes do balão ser posto no gargalo. Ilustre por meio de um desenho a organização da matéria em nível microscópico e descreva por meio de comentários a situação apresentada.
2. Agora proponha um modelo para a matéria de dentro da garrafa após o balão encher dentro da mesma. Ilustre por meio de um desenho a organização da matéria em nível microscópico e descreva por meio de comentários a situação apresentada.
3. Olhando para os desenhos construídos por você, formule um modelo de representação para a matéria que explique satisfatoriamente a situação que foi vivenciada. Não se preocupe em acertar ou errar, pois neste exercício não há sentido nesse tipo de pensamento, ou seja, trata-se de uma construção sua. A seguir temos algumas questões para orientá-lo na construção de seu modelo explicativo: De que a matéria é formada? Que características ela possui? Como ela está organizada? Como ela interage para permitir que o fenômeno observado aconteça.
4. O que aconteceria se aumentássemos novamente a temperatura dentro da garrafa sem retirar a bexiga?
5. Agora coloque a garrafa dentro de água fervente e observe. O que aconteceu? Os fatos previstos foram verificados? Por que?

Alternativas ao ensino de modelos atômicos

6. Descreva o evento suposto acima (o sistema em aquecimento) utilizando o modelo explicativo construído por você no experimento anterior.

Experimento 2: O canudinho

Este experimento pode ser utilizado para levantar discussões sobre os fenômenos de natureza elétrica da matéria, característica que historicamente foi importante para a transição do Modelo Atômico de Dalton para o Modelo Atômico de Thomson.

Material necessário:

- Um pedaço de papel
- Um canudinho
- Alguns pedaços de papel repicados

Como realizar:

- Dobre o papel maior ao meio
- Posicione o canudo no meio do papel dobrado
- Pressione o canudo com os dedos e movimente o papel no seu comprimento
- Repita esse movimento várias vezes
- Segure o canudo próximo aos pedaços de papeis cortados e observe.

Questões

1. Considerando o que foi observado no experimento acima, proponha um modelo para a matéria do canudinho antes de entrar em contato com o papel. Ilustre por meio de um desenho a organização da matéria em nível microscópico e descreva por meio de comentários a situação apresentada.

História e natureza dos modelos atômicos

2. Agora proponha um modelo para a matéria do canudinho após entrar em contato com os pedacinhos de papel. Ilustre por meio de um desenho a organização da matéria em nível microscópico e descreva por meio de comentários a situação apresentada.

3. Olhando para os desenhos construídos por você, formule um modelo de representação para a matéria que explique satisfatoriamente a situação que foi vivenciada. Não se preocupe em acertar ou errar, pois neste exercício não há sentido nesse tipo de pensamento, ou seja, trata-se de uma construção sua. A seguir temos algumas questões para orientá-lo na construção de seu modelo explicativo: De que a matéria é formada? Que características ela possui? Como ela está organizada? Como ela interage para permitir que o fenômeno observado aconteça.

Experimento 3: Efeito do filtro solar

Esse experimento pode ser utilizado como um contexto para discussão das características e comportamento da matéria em situações de emissão de luz por meio de salto quântico.

Material necessário:

- Uma lâmpada de “luz negra”
- Marcador de texto fluorescente
- Folha de papel A4
- Protetor solar

Como realizar:

- Faça uma mancha na folha A4 com o marcador de texto
- Acenda a luz negra e apague as luzes do ambiente
- Observe o que acontece com a folha de papel A4
- Acenda as luzes
- Passe protetor solar na metade da mancha no A4

Alternativas ao ensino de modelos atômicos

- Acenda a luz negra e apague as luzes do ambiente novamente
- Observe o que acontece

Questões

1. Considerando o que foi observado no experimento acima, proponha um modelo para a matéria da folha A4 manchada pelo marcador de texto. Ilustre por meio de um desenho a organização da matéria em nível microscópico e descreva por meio de comentários a situação apresentada.

2. Agora proponha um modelo para a matéria para o primeiro momento em que a luz negra incide na mancha de marcador no papel A4. Ilustre por meio de um desenho a organização da matéria em nível microscópico e descreva por meio de comentários a situação apresentada.

3. Olhando para os desenhos construídos por você, formule um modelo de representação para a matéria que explique satisfatoriamente a situação que foi vivenciada. Não se preocupe em acertar ou errar, pois neste exercício não há sentido nesse tipo de pensamento, ou seja, trata-se de uma construção sua. A seguir temos algumas questões para orientá-lo na construção de seu modelo explicativo: De que a matéria é formada? Que características ela possui? Como ela está organizada? Como ela interage para permitir que o fenômeno observado aconteça.

4. O que aconteceu com a mancha de marcador na folha A4 quando uma parte foi coberta com filtro solar e iluminada pela luz negra?

Referências

BERRYMAN, S. Democritus. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2008 Edition), 2008. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/democritus>>. Acesso em: 10 Set 2015.

BRABO, J.C.; OLIVEIRA, M. E. S. ; MUNIZ, A. A. M. . Modelos atômicos de futuros professores de Química: teorias científicas ou representações sociais? Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, 10 a 13 de novembro de 2013. Disponível em <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1119-1.pdf>>

CANTORE, E. Atomic order: an introduction to the philosophy of microphysics. MIT Press, Cambridge, MA. 1969.

CARVALHO, R. S.. Lavoisier e a sistematização da nomenclatura Química. *Scientiae Studia (USP)*, v. 10, p. 759-771, 2012.

DUBSON, M. A Brief History of Modern Physics and the development of the Schrödinger Equation. Department of Physics, University of Colorado Boulder, 2008b. Disponível em: <<http://goo.gl/qKv2kV>>. Acesso em: 10 Set 2015.

DUBSON, M. Quantum Mechanics. Department of Physics, University of Colorado Boulder, 17 ago. 2008. Disponível em: <<http://goo.gl/9CIKSx>>. Acesso em: 10 Set 2015.

Referências

FILGUEIRAS, Carlos AL. A Espectroscopia e a Química. Química Nova na Escola, v. 3, p. 22-25, 1996.

FILGUEIRAS, Carlos Alberto L. Duzentos anos da teoria atômica de Dalton. Química Nova na Escola, v. 20, p. 38-44, 2004.

GRIFFITHS, A.K; PRESTON, K.R. (1992), Grade-12 students misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. Journal of Research in Science Teaching, 29. 1992. p. 611-628.

GOMES, J. P. H; OLIVEIRA, O. B. O. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. Ciências & Cognição, Rio de Janeiro, v. 12, p 96-109, 2007.

HARRISON, A.G; TREAGUST, D.F. Conceptual change using multiple interpretive perspectives: Two case studies in secondary school chemistry. Instructional Science, 29. 2001. p.45-85.

HERMOSO, W.; ORNELLAS, F. Modelos da Química Quântica no espaço de momento: diferentes representações de um mesmo sistema. Química Nova, 2009. 2487-2491.

KRAGH, Helge. Convenções e ordem da natureza: algumas perspectivas históricas. Amazônia – Revista de Educação em Ciências e Matemáticas, v.11(22), p.5-22, 2015.

LAKATOS, Imre. História da ciência e suas reconstruções racionais. Lisboa: Edições 70, 1998.

LARANJEIRAS, C. Espectroscopia: a essencial contribuição de Gustav R. Kirchhoff e Robert W. Bunsen. Experimentum. Fevereiro, 2010. Disponível em <<http://www.experimentum.org/blog/?p=544>>

LUCRÉCIO. De rerum natura. Tradução de Martin Ferguson Smith. Cambridge: Harvard University Press, 2001.

História e natureza dos modelos atômicos

MATTHEWS, Michael R. Science teaching: The role of history and philosophy of science. Psychology Press, 1994.

MCGRAW-HILL. Atomic structure and spectra. The Free Dictionary by Farlex, 2002. Disponível em: <<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Atomic+structure+and+spectra>>. Acesso em: 10 Set 2015.

MELEIRO, A. Hipermídia e as representações imagéticas dos modelos teóricos para a estrutura da matéria. Campinas: Unicamp, 1998. Dissertação de Mestrado.

MOREIRA, M.A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.31(1). 2009.

MORTIMER, E. F. Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

NIAZ, M.; CARDELLINI, L. What can the Bohr-Sommerfeld model show students of chemistry in the 21st century? *Journal of Chemical Education*, 88, n. 2, 2011. 240-243. DOI: 10.1021/ed100481e.

OKASHA, Samir. Una brevisimaintroducción a la filosofía de la ciencia. Cidade do México: Oceano. 2007.

OKASHA, Samir – Philosophy of science: a very short introduction. Oxford: Oxford University Press, 2002.

OKI, M. D. C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. *Química Nova*, São Paulo, 32, 2009. 1072-1082. DOI: 10.1590/S0100-40422009000400043.

POPPER, Karl R. A lógica da pesquisa científica. Editora Cultrix, 2004.

SANTOS, A. O. Como são formadas as concepções de modelos dos alunos a partir da visão dos professores de ciências. V Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade". São Cristóvão – SERGIPE. 2011.

Referências

TABER, K. S. The atom in the chemistry curriculum: fundamental concept, teaching model or epistemological obstacle? *Foundations of Chemistry*, 5 (1), p.43-84, 2003.

TABER, K. S. Straw men and false dichotomies: overcoming philosophical confusion in chemical education. *Journal of Chemical Education*, v. 87, n. 5, p. 552-558, 2010. DOI: 10.1021/ed8001623.

TAVARES, O.A.P. Ernest Rutherford e o Átomo Nuclear. CBPF-CS-002/11. 2011. Disponível em <http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/cs00211.2011_01_10_13_57_15.pdf>. Acesso em 18/Set.2015.

THAGARD, P.; TOOMBS, E. Atoms, categorization and conceptual change. In: COHEN, H.; LEFEBVRE, C. *Handbook of Categorization in Cognitive Science*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science, v. 1, 2005. Cap. 10, p. 243-255.

TSAPARLIS, G. Towards a meaningful introduction to the Schrödinger equation through historical and heuristic approaches. *Chemistry Education: research and practice in Europe*, 2, n. 3, 2001. 203-213. http://www.uoi.gr/cerp/2001_October/pdf/04Tsaparlis.pdf.

WARTHA, E. J. ; ALVES, L. C. ; SÁ, P.L ; SANJUAN, M. A. ; SANTOS, C. V. . Uma proposta didática para a elaboração do pensamento químico sobre elemento químico, átomos, moléculas e substâncias. *Experiências em Ensino de Ciências (UFRGS)*, v. 5, p. 7-20, 2010.

SILVA, L. C. M., SANTOS, W. M. S., EDIAS, P. M. C. A carga específica do elétron: um enfoque histórico e experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 01-07, 2011.