



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE
DO PARANÁ**

Campus Cornélio Procópio

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO**

LUIZ CARLOS GIACHELLO DOS ANJOS

CONCEITO ÁTOMO:

PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

CORNÉLIO PROCÓPIO – PR

2019

LUIZ CARLOS GIACHELLO DOS ANJOS

CONCEITO ÁTOMO:
PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP) como quesito para a obtenção do Título de Mestre Profissional em Ensino.
Orientadora: Profa. Doutora Marlize Spagolla Bernardelli

CORNÉLIO PROCÓPIO – PR

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

A599c Anjos, Luiz Carlos Giachello dos
Conceito Átomo: proposta de uma sequência
didática / Luiz Carlos Giachello dos Anjos;
orientador Marlize Spagolla Bernardelli - Cornélio
Procópio, 2019.
73 p.

Dissertação (Mestrado em Ensino) - Universidade
Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências
Humanas e da Educação, Programa de Pós-Graduação em
Ensino, 2019.

1. Abordagem Histórico-Epistemológica. 2. Estudo do
Átomo. 3. Aprendizagem Significativa. 4. Ensino de
Química.. I. Bernardelli, Marlize Spagolla , orient.
II. Título.

LUIZ CARLOS GIACHELLO DOS ANJOS

O ENSINO DO CONCEITO ÁTOMO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
HISTÓRICO - EPISTEMOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ensino da Universidade Estadual do Norte do Paraná
– *Campus* Cornélio Procópio, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Ensino.

Após realização de Defesa Pública, o trabalho foi considerado:

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Marlize Spagolla Bernardelli
Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP

Profa. Dra. Alessandra Dutra
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Prof. Dra. Simone Luccas
Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP

Cornélio Procópio, ____ de _____ de _____

RESUMO

ANJOS, L. C. G. *Conceito Átomo*: proposta de uma sequência didática. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino) Universidade Estadual do Norte do Paraná, Cornélio Procopio, 2019.

A compreensão do conceito Átomo é fundamental para o entendimento da Química na Educação Básica e, por ser muito abstrato, encontra-se dificuldade na condução de seu ensino, principalmente no Ensino Médio. Nesse sentido, propomos como objetivo deste trabalho discutir os resultados da elaboração e aplicação de uma sequência didática a respeito dos modelos atômicos segundo uma abordagem metodológica de ensino Histórico-Epistemológica. Essa sequência didática se fundamenta na teoria da aprendizagem significativa, defendida por David Ausubel, que considera o conhecimento prévio do aluno, bem como as relações deste com outros conhecimentos. Inicialmente, expomos uma reconstrução histórica a respeito da constituição da matéria, começando com os pensamentos dos filósofos gregos até chegarmos ao início do século XIX de nossa era. Sequencialmente, abordamos os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr, com o intuito de favorecer a autonomia ao aluno na construção de seu conhecimento. Como resultados da aplicação da Sequência Didática, observamos indícios de que os alunos compreenderam o desenvolvimento histórico do conceito de Átomo. Com atividades diversificadas, como mapas conceituais, cartas escritas pelos alunos sobre os cientistas, entre outras, constatamos que o objetivo foi alcançado, identificando indícios de aprendizagem significativa.

Palavras-chaves: Abordagem Histórico-Epistemológica, Estudo do Átomo, Aprendizagem Significativa, Ensino de Química.

ABSTRACT

ANJOS, L.C.G. The Atom concept teaching: a historical - epistemological didactic sequence. 2019. 73 pages. Dissertation (Professional Master's in Teaching) State University of Northern Paraná, Cornélio Procópio.

The development of the Atom concept, since is an abstract concept, presents a valuable relevance to the Chemistry Teaching in Basic Education, especially in High School. For a better understanding of this content we propose as objective a didactic sequence regarding the Atomic models through a historical-epistemological view. This didactic sequence is based on the theory of Significant Learning advocated by David Ausubel that considers the prior knowledge of the student the most important element that they take to the classroom. Initially, we made a historical recurrence regarding the constitution of matter, beginning with the thoughts of the Greek philosophers until we reached the beginning of the nineteenth century of our era. Sequentially, we approach the atomic models of Dalton, Thomson, Rutherford and Bohr, with activities favoring student autonomy in the construction of their knowledge. As a result of the applied sequence, we observed that it aroused to the students the understanding of the historical development of the Atom concept. With diversified activities such as concept maps, letters written by students about scientists, among others, it was found that the goal was achieved by identifying significant learning cues.

Key Words: Historical-Epistemological Approach, Atom Study, Significant Learning, Chemistry Teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do Modelo Atômico Proposto por Dalton.....	17
Figura 2 - Representação do Modelo Atômico de Thomson.....	20
Figura 3 - Modelo atômico de Rutherford.....	23
Figura 4- Modelo atômico de Bohr.	27
Figura 5 - Um mapa conceitual em sua forma mais simples - A relação entre os conceitos “Céu” e “Azul.....	31
Figura 6 - M2, construído pelo A2.....	44
Figura 7 - M1 construído pelo A2.....	45
Figura 8 - M2 construído pelo A5.....	46
Figura 9 - M1 construído pelo A5.....	47
Figura 10 - Representação do Átomo realizada pelo A5.....	48
Figura 11 - Representação do Átomo realizada pelo aluno A1.....	49
Figura 12 - Representação do Átomo apresentada pelo A4.....	49
Figura 13 - Representação do Átomo realizado pelo A2.....	50
Figura 14 - Representação do Átomo realizado pelo A8.....	51
Figura 15 - M1 construído pelo A6.....	52
Figura 16 - M2 construído pelo A4.....	53
Figura 17 - M1 construído pelo A2.....	54
Figura 18 - M2 Construído pelo A7.....	55
Figura 19 - M2 Construído pelo A4.....	56
Figura 20 - M1 construído pelo A6.....	58
Figura 21 - M1 construído pelo A8.....	59
Figura 22 - Representação do Átomo realizada pelo A7.....	60
Figura 23 - M1 construído pelo A1.....	62
Figura 24 - M1 construído pelo A3.....	63
Figura 25 - M1 construído pelo A5.....	64
Figura 26 - M1 construído pelo A7.....	65
Figura 27 - M2 construído pelo A8.....	66
Figura 28 - M2 construído pelo A7.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1 ABORDAGEM HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA NO ENSINO DAS CIÊNCIAS	10
2.2 PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DO DESENVOLVIMENTO DA QUÍMICA.....	12
2.2.1 A Teoria Atômica de Dalton	15
2.2.2 Teoria Atômica de Thomson	17
2.2.3 A Teoria Atômica de Rutherford	20
2.2.4 O Átomo de Bohr	23
2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COMO SUPORTE DA PESQUISA.....	27
2.3.1 Mapa Conceitual como organizador das noções dos alunos.....	31
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZADA COMO PRODUTO EDUCACIONAL	35
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A COLETA DE DADOS.....	38
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ANÁLISE DOS DADOS.....	39
3.3.1 Procedimentos metodológicos para a elaboração das unidades temáticas de contexto e unidades de registro.....	41
4 ANÁLISE DOS DADOS	42
4.1 ANÁLISE CATEGORIAL DAS UNIDADES	42
4.1.1 UC1 – Compreensão do conceito do átomo.....	42
4.1.1.1 UR1.1 – Definição de átomo	42
4.1.1.2 UR1.2 – Conceitos subsunçores relativos ao átomo.....	44
4.1.2 UC2 – Entendimento estrutural do átomo	46
4.1.2.1 UR 2.1 – Estrutura do átomo	47
4.1.2.2 UR2.2 - Diferenciação progressiva do conceito do átomo nos mapas conceituais	53

4.1.2.3 UR2.3 – Reconciliação integrativa do conceito átomo	56
4.1.3 – UCE 3- Concepções Alternativas	57
4.1.3.1 - URE3.1 – Concepções alternativas dos alunos em relação à estrutura do átomo	57
4.2 SÍNTESE DA ANÁLISE DE DADOS	60
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICE A	73
APÊNDICE B.....	73

1 INTRODUÇÃO

Ao observar como os alunos entendem a Ciência, entre elas a Química e, por muitas vezes, o desinteresse por disciplinas científicas, limitando-as somente a fórmulas, cálculos e conceitos difíceis de aprender, tal situação leva à reflexão de que maneira o Ensino de Química pode ser mais atrativo e significativo para alunos do Ensino Médio.

Para tal, foi selecionada, como abordagem metodológica, a História e Epistemologia da Ciência, utilizando como tema a Teoria Atômica, por ser considerado um tema bem documentado, no qual a busca do que se constitui o universo passa por vários momentos da História da Humanidade. Apresentando, dessa forma, um potencial de levar o aluno a compreender o desenvolvimento da Ciência.

O uso da História é relevante em **várias** áreas da vida humana, o que não é diferente durante o processo de ensino e de aprendizagem. Nesse processo, ela pode ser utilizada em diversas disciplinas, como uma metodologia utilizada pelos professores na busca de indícios da aprendizagem significativa de seus alunos. Nessa perspectiva, insere-se a problemática da Pesquisa: Como a abordagem Histórico-Epistemológica da Química pode contribuir para a aprendizagem significativa dos alunos quanto ao desenvolvimento da estrutura atômica em uma sequência didática?

Para responder a essa problemática, o objetivo deste trabalho é discutir os resultados da elaboração e aplicação de uma sequência didática, como produto educacional deste trabalho, visando orientar alunos do Ensino Médio e professores quanto aos significados de conceitos científicos com o uso da abordagem Histórico-Epistemológica da Química, baseado na teoria de David Ausubel, de forma que alunos possam contar com mais um recurso em sala de aula capaz de auxiliá-los o ensino e a aprendizagem.

No desenvolvimento do trabalho, inicialmente realiza-se uma revisão para identificar o uso da História da Ciência e História e Filosofia da Ciência em sala de aula nos principais periódicos brasileiros, seguindo os procedimentos de uma revisão sistemática relatado por Pneumol (2011). Para isso, foram analisados 5136 artigos publicados entre 2007-2017. Dentre eles, somente um tratava do uso da História da Ciência, voltado para o Ensino de Química em sala de aula. Levando em conta o baixo número de artigos encontrados a respeito da História da Ciência, é indício aparente da necessidade de materiais e utilização da História e Epistemologia da Ciência na disciplina de Química.

Quanto à estrutura, o trabalho, após esta introdução, é formado por quatro capítulos com o intuito de analisar o objetivo e a problemática apresentada. No primeiro capítulo, expomos a

fundamentação teórica, partindo de como a História e a Epistemologia da Ciência é apresentada em sala de aula. Logo após, apresenta-se uma perspectiva Histórico-Epistemológica do desenvolvimento da Química e das teorias atômicas partindo dos primeiros filósofos, passando por Dalton, Thomson e Rutherford, até Bohr, sempre buscando, quando possível, fontes primárias.

Ainda na fundamentação teórica é abordada a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, teoria essa que direciona este trabalho junto com os Mapas Conceituais de J. Novak, que poderá nos trazer indícios de aprendizagem significativa.

No capítulo seguinte, descrevemos os procedimentos dos caminhos percorridos para a realização desse trabalho, como: tipo de pesquisa, elaboração e aplicação da sequência didática, Produto Educacional. Do mesmo modo, os procedimentos metodológicos para a coleta e análise dos dados. Encerramos esse capítulo com os procedimentos metodológicos para a elaboração das unidades de contexto e unidades de registros.

Nessa continuidade, chegamos ao capítulo referente à análise dos dados levantados durante a pesquisa, na qual foi utilizada a análise de conteúdo de Bardin (2016). Dessa forma, os dados foram categorizados e agrupados por suas semelhanças e diferenças, buscando interpretações para tais resultados, consequentemente a análise categorial das unidades.

O presente trabalho se encerra com as palavras finais, ciente que os recursos pedagógicos escolhidos para o desenvolvimento dessa pesquisa foram exauridos, embora não podemos qualificá-lo como totalmente acabado, pela existência de diversos recursos pedagógicos existentes, podendo este trabalho ser cotinuado em outras pesquisas e com outros conteúdos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a fundamentação teórica, realizamos uma pesquisa para a construção de uma sequência didática em relação à História e a Epistemologia da Ciência, aprendizagem significativa e o desenvolvimento da estrutura atômica. Várias fontes foram consultadas, incluindo fontes primárias no decorrer da história. Levando em conta o contexto do trabalho reportamos ao ensino das Ciências como uma abordagem Histórico-Epistemológica.

2.1 ABORDAGEM HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

Em geral, o ensino de Ciências prioriza o seu produto final, trazendo uma visão simplista e, por vezes, equivocada da natureza, do conhecimento científico e da imagem do próprio cientista como um ser sobre-humano, conforme evidenciam diversas pesquisas (GIL-PÉREZ et al., 2001). Corroborando com essa realidade, Melo e Peduzzi (2007) nos mostram que o ensino de Ciência apresenta uma Ciência passiva, ou seja, neutra e objetiva, opondo-se à realidade da evolução científica na qual ocorrem rupturas. Nessa perspectiva, apresenta o cientista como um gênio, um ser sobrenatural, o qual não apresenta falhas e frustrações, somente acertos, dessa forma, desumanizando os cientistas.

É o que se observa em sala de aula, o predomínio de uma concepção de Ciência baseada na ideia de cumulatividade e linearidade das teorias e leis que, gradualmente, vão sendo apresentadas aos alunos, porém a utilização da História e da Epistemologia nas pesquisas de Ciências e Matemática é defendida por vários autores, como Luccas e Lucas (2012, p. 108):

A utilização de uma abordagem metodológica envolvendo a História e a Epistemologia do conhecimento científico e matemático, na educação em Ciências e Matemática corresponde a mais um modo de se trabalhar com esse conhecimento, quer em situações de pesquisa quer em ensino.

No entanto, poucos trabalhos trazem propostas para a utilização de tal metodologia para o ensino, apesar de seu grande potencial, mesmo existindo vários argumentos que defendem a utilização da História e da Epistemologia da Ciência, entre eles:

- Favorece a compreensão do aluno quanto às diferentes interpretações dos resultados de um experimento científico;
- Permite que o aluno perceba os desacordos entre os cientistas e as condições da Ciência da época que impossibilitava dar ganho de causa aos envolvidos em uma dada controvérsia;

- Mostra a noção de que, na maioria das vezes, o que é abordado em poucos parágrafos nos livros didáticos, representa um recorte (possível) de uma longa discussão repleta de experimentos e debates que perpassam décadas;
- Elucida que toda síntese histórica (muitas vezes conhecida nos livros didáticos) é resultado de uma interpretação, a qual pode ser empreendida e/ou apresentada de forma tendenciosa;
- Permite o reconhecimento da existência de uma multiplicidade de fatores não lineares que influenciaram (e, por vezes, influenciaram-se mutuamente) o processo de construção e validação do conhecimento científico atual, que não podem ser explicitados apenas por datas nomes e resultados;
- Revela que uma compreensão mais profunda do conhecimento científico hodierno requer inevitavelmente, uma investigação dos contextos histórico, social e intelectual, além de sua difusão em uma realidade espacial e intelectual;
- Aponta que, a partir do estudo de episódios históricos, é possível mostrar aos estudantes o processo longo e gradativo da construção do conhecimento, de modo que seja mais fácil apresentar-lhes uma noção mais coerente da ciência, métodos e suas limitações;
- Pode estimular uma criticidade coerente e reflexiva, ajudando na percepção de visões ingênuas de Ciência;
- Permite apresentar o processo gradativo (não linear) e complexo do conhecimento e fazer com que os alunos percebam que suas dúvidas são razoavelmente aceitáveis em relação a conceitos que levaram tanto tempo para se estabelecerem;
- Por fim, mostrar que teorias científicas não são estáticas e dogmáticas, mas que estão em constante revisão. (LUCCAS; LUCAS, 2012, p. 109-110).

Além disso, levando em consideração o processo Histórico-Epistemológico, como uma metodologia de ensino, podemos destacar a relação existente entre a interdisciplinaridade e a contextualização. A primeira se apresenta “quando aplicada ao ensino, pelo fato de envolver, de forma imbricada, aspectos históricos, epistemológicos, pedagógicos (didática, metodologia, aprendizagem) e de diversas áreas do conhecimento científico e matemático” (LUCCAS; LUCAS, 2012, p. 111). Já a segunda “envolve um estudo da contextualização sócio-tempo-cultural da criação e da aplicação do conhecimento, promovendo, assim uma aproximação entre o contexto atual vivido pelo aluno e o contexto remoto, no qual o conhecimento foi desenvolvido” (LUCCAS; LUCAS, 2012 p. 112).

Todas as evidências levantadas até o momento, referentes à relevância da História e da Epistemologia da Ciência, leva-nos a crer que tal metodologia pode ser um dos caminhos para uma mudança significativa na maneira de se ensinar a disciplina científica, realidade essa que não poderia ficar de fora dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), no qual o aluno deve entender Ciências como construções humanas, desenvolvendo-se por acumulação, continuidade, ilustrando o desenvolvimento e a evolução dos conceitos a serem aprendidos. É importante que a Ciência seja apresentada em um processo histórico de transformação contínua (BRASIL, 2000). Assim, a História e Epistemologia da Ciência é um importante recurso, pois transcende a relação social, ilustrando o desenvolvimento dos conceitos a serem aprendidos.

De maneira geral, podemos dizer que os principais preceitos para se utilizar a História e a Epistemologia da Ciência são (i) humanizá-la; (ii) auxiliar no aprendizado dos conceitos científicos; (iii) instigar o aluno em busca por uma cultura científica; e (iv) que o aluno entenda que a ciência não é uma verdade absoluta e que está em constante desenvolvimento; e (v) também entender como se dá o método científico (MATTHEWS, 1995).

A seguir, vamos apresentar, de maneira sintetizada, uma reconstrução Histórico-Epistemológica da Química, juntamente com o conceito Átomo.

2.2 PERSPECTIVA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DO DESENVOLVIMENTO DA QUÍMICA

A Ciência está em constante transformação, percorrendo um caminho cheio de obstáculos de tentativas e erros, opondo-se, assim, à imagem da Ciência como pronta, acabada e exata. No entanto, não é apresentado seu processo Histórico-Epistemológico, escondendo a existência de obstáculos epistemológicos sendo que

[...] a ideia de obstáculo epistemológico procura-se dar relevância aos erros surgidos ao longo do processo científico, omitidos ou desconhecidos pela história tradicional. O erro faz surgir a verdade e, como consequência, uma autêntica história das ciências. Um dos primeiros obstáculos a serem ultrapassados é a opinião, pois também um fato mal interpretado torna-se um empecilho para o epistemólogo. Outros exemplos de obstáculos epistemológicos são aqueles que ocorrem quando uma marcha progressiva de organização do conhecimento vê-se ameaçada por novas descobertas. (MOURA et al., 2007, p. 492).

Essa organização do conhecimento reconhece que “o próprio processo histórico é capaz de possibilitar o ‘ajustamento’ entre teoria e prática, admitindo, portanto, que a ciência é progressiva e resulta de um acréscimo do saber e de uma acumulação de conhecimentos” (MOURA et al., 2007, p. 492). Tal realidade não é diferente para o desenvolvimento Histórico-Epistemológico da Química, desde seu início como Ciência.

Considerando que a Química está presente desde o início da humanidade, ou seja, do domínio do fogo aos fármacos, ela se faz presente em nossas vidas. Nesse sentido, destaca-se sua relevância no desenvolvimento da sociedade associada à transformação da humanidade, não somente como um progresso biológico, mas social, cultural e, principalmente, tecnológico e científico. Escrever a respeito da história de uma Ciência, como a Química, dando destaque a questões epistemológicas não é fácil, o que se prioriza para um, pode ser algo não notável para o outro. Neste trabalho, portanto, partimos de uma sucinta História da Química, retomando a

pré-história, passando pela idade dos metais, filósofos gregos, alquimia e finalizando com o Renascimento, quando a Química nasce como Ciência. Essa exposição traz fatos interessantes que foram marcos na História da humanidade e da Química.

Ainda é obscuro definir com precisão em que momento da história o homem realizou a primeira transformação química que pudesse ser entendida como um conceito químico. Provavelmente, uma das primeiras transformações químicas realizadas pelo homem, embora não intencional, esteja associada ao uso do fogo, utilizado no fornecimento de luz, calor e na cocção de alimentos. O domínio do fogo possibilitou ao homem primitivo o domínio das técnicas de fabricação de vidro e cerâmica (CHASSOT, 2004).

Depois de deixar de ser nômade e dominar a agricultura, o homem primitivo começa a utilizar metais, iniciando, assim, a arte da metalurgia, que consiste no uso do Cobre (Cu) junto com Estanho (Sn), utilizados para a produção da liga metálica de Bronze (90% Cu e 10% Sn). Por serem relativamente moles, podiam ser moldados pela técnica do martelamento que além da maleabilidade desses metais, aumentava a resistência dos utensílios produzidos. Alguns utensílios de ferro produzidos por esta técnica primitiva, possivelmente, foram compostos de ferro meteórico, que atingia continuamente a terra. A metalurgia foi um marco para a sociedade humana, nomeando suas eras: Idade do cobre (6000 a.C. a 3000 a.C.), Idade do Bronze (3000 a.C. a 1200 a.C.) e a Idade do ferro (1200 a.C. ao início da Era Cristã) (VIDAL, 1986; CHASSOT, 2004; NAVARRO, 2006).

Partindo para a Grécia Antiga, o fato mais importante foi quando os filósofos tentaram, de maneira idiossincrática, definir do que é constituída a matéria e o cosmo. A indagação a respeito da composição do cosmo e da constituição da matéria é antiga, no entanto, as ideias que mais influenciaram no desenvolvimento da ciência moderna estão relacionadas aos filósofos gregos, mediante duas teorias acerca da constituição da matéria, o Atomismo e a Teoria dos quatro elementos. Ambas as teorias foram baseadas no racionalismo, não se preocupando com a verificação prática das hipóteses e conclusões levantadas. O Atomismo está relacionado aos filósofos gregos Leucipo da cidade de Mileto (500 a.C.-Indeterminado) e Demócrito, da cidade de Abdera (460-357 a.C.) (ROCHA, 2007).

Os atomistas defendiam que o universo era constituído por átomos e vácuo, ou seja, composto por um agregado de matéria e um extremo vazio. Demócrito acreditava que a matéria poderia ser subdividida em pedaços cada vez menores, até atingir um limite, no qual seria impossível a divisão. A denominação *Átomo* (*a*: não e *tomo*: divisível) foi dada quase um século depois por Epicuro (341 a.C. – 270 a.C) (MARTINS, 2001).

Já a teoria dos quatro elementos ou naturalista, que tentou responder a constituição da matéria, está ligada a Empédocles (490 a.C-430 a.C.) e Aristóteles (384-322 a.C.). Essa teoria propôs que a matéria seria formada pelos quatro elementos da natureza: terra, ar, fogo e água, opondo-se ao atomismo. Aristóteles ampliou a ideia de Empédocles, propondo a existência de uma matéria prima que formaria o universo, matéria essa formada pela combinação dos quatro elementos propostos por Empédocles (ROCHA, 2007; MARTINS, 2001).

Chegando à idade média, temos o surgimento da alquimia, quando analisamos o desenvolvimento da Química. É difícil não encontrarmos citações que se referem à alquimia, como uma antecessora da Química, como se fosse uma Química primitiva, momento de transição entre o mítico e o científico, contribuindo de maneira notável para o desenvolvimento da Química do modo como a conhecemos.

A alquimia frequentemente está ligada à busca a pedra filosofal, um sólido misterioso, que permitiria efetuar a transmutação dos metais menos nobres em ouro, e do elixir da longa vida, substância capaz de curar todos os tipos de males e prolongar o tempo de vida humana. Podemos dizer que a busca dos alquimistas não era por algo material, mas sim místico (VIDAL, 1986). Os estudos desenvolvidos pelos alquimistas e os conhecimentos construídos no período da Alquimia não só contribuíram para o desenvolvimento da Química como Ciência, mas também foi de grande importância para que algumas áreas da Química fossem melhor compreendidas, por exemplo, a metalurgia e a produção de remédios.

George Ernst Stahl (1659-1736) que por volta de 1703 e 1731 propôs a Teoria do Flogístico (do grego *phlogiston*, significando “passado pela chama” ou “queimado”), na qual propunha que quando uma substância era queimada, ela perderia flogisto, um material invisível presente na matéria. Tal ideia vinha dos famosos alquimistas, que ao observarem a queima (combustão) da madeira, verificaram que as cinzas, resultantes dessa reação, tinham massa menor que a massa inicial. Essa observação foi explicada por Stahl como consequência da perda do flogisto (OLIVEIRA; SILVA; OLIVEIRAS, 2013).

Apesar do sucesso, a Teoria do Flogístico não conseguiu explicar a variação de massa de um metal aquecido. No término da reação, o produto final tem uma massa maior que a do metal antes da reação. Para tentar explicar essa realidade, propôs-se então que o flogisto tinha massa negativa. A Teoria do Flogístico dominou a química por quase um século, só sendo refutada pelos trabalhos de Antoine Lavoisier (1743-1794), que descobriu que, na verdade, esse flogisto era o gás Oxigênio (OLIVEIRA; SILVA; OLIVEIRAS, 2013).

Durante o Século XVII, o conhecimento químico era ainda baseado nas ideias da Alquimia, o que fez com que a consolidação da Química como ciência só ocorresse no Século

XVIII, no Renascimento, atrelada principalmente aos trabalhos do químico francês Antoine Lavoisier, e de vários outros cientistas, como Boyle (1627-1691), Scheele (1742-1786), Proust (1771-1826), Cavendish (1731-1810), Priestley (1733-1804), entre outros), com a criação do método científico e indutivo (PARTINGTON, 1989; CHASSOT, 2004).

Robert Boyle, para muitos cientistas, foi considerado o “último dos alquimistas”, e Lavoisier, com suas pesquisas envolvendo a conservação da matéria e a criação de um método científico, foi considerado pela maioria dos químicos modernos como o “Pai da Química”. A partir dessa revolução, a Química passou a ser notável para a humanidade pelos seus feitos em diversas áreas da sociedade, desde a conquista do espaço até o estudo de sistemas quânticos (VIDAL, 1986; CHASSOT, 2004).

Outro fator que moveu a Química e ainda a move é a procura da resposta para o mistério a respeito de como é constituída a matéria. Questão essa que os cientistas procuram responder há muito tempo, desde a Grécia antiga até os dias atuais. A seguir será discutida, de maneira breve, a incansável busca pela matéria prima do universo.

2.2.1 A Teoria Atômica de Dalton

A teoria atômica não foi destaque na química até que John Dalton (1766-1844) dotou os átomos de alguns elementos químicos com pesos fixos, porém com diferentes valores entre si, para isso, ele utilizou duas leis propostas pelos franceses, Lavoisier e Proust, que ficaram conhecidas como as “Leis Ponderais”.

Por volta do ano de 1771, Antoine Laurent Lavoisier propôs a Lei da Conservação da Massa, realizando trabalhos para elucidar a relevância do ar nas reações de combustão, em especial reações do enxofre e do fósforo, nas quais se constatou um aumento de peso. Para esse aumento, Lavoisier atribui uma quantidade considerável de ar que reagiu com os produtos durante a combustão. Em 1776, veio à prova, por meio de uma experiência da análise do ar pela calcinação do mercúrio, formando por aquecimento, em meio fechado e em presença do ar, óxido vermelho de mercúrio. Lavoisier, em seguida, decompôs esse produto por aquecimento, recolhendo mercúrio e ar vital (o nosso oxigênio), cujo resultado não deixou dúvida de que na mistura atmosférica existe o elemento oxigênio que se combina com os metais, entre outros, durante a calcinação e aumenta o peso da quantidade que reagiu com eles (CHASSOT, 2004; VIDAL, 1986).

Em 1797, Joseph Proust (1754-1826) propôs a Lei das Proporções Definidas. A partir de análises realizadas com o carbonato de cobre, óxidos de estanho e sulfatos de ferro, Proust

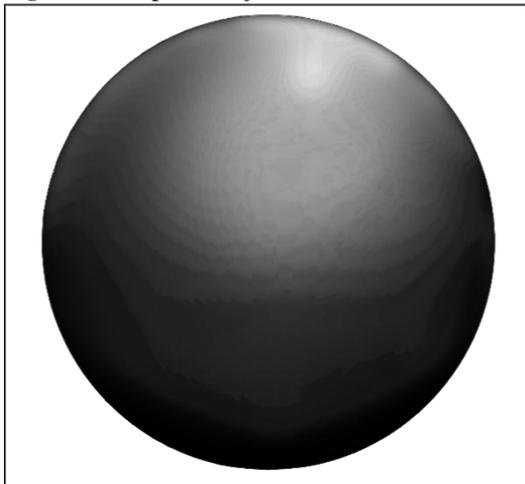
propôs que: “os elementos que reagem para formar um composto sempre se combinam em massas que guardam entre si uma relação de números inteiros e pequenos” (OLIVEIRA; SILVA; OLIVEIRAS, 2013, p. 62), ou seja, sempre as mesmas substâncias terão iguais proporções de seus elementos constituintes.

Utilizando as ideias propostas pelas Leis Ponderais, Dalton propôs uma nova Teoria Atômica, em sua obra *New system Chemical phylosphy* (DALTON, parte I, 1808; parte II, 1810), de maneira simplória afirma que:

- (I) Os elementos químicos são compostos de partículas de matéria esféricas indivisíveis e indestrutíveis, chamadas átomos, que preservam sua individualidade em todas as mudanças químicas.
- (II) Todos os átomos do mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos, particularmente em peso. Diferentes elementos têm átomos diferentes em peso. Cada elemento é caracterizado pelo peso do seu átomo.
- (III) A combinação química ocorre pela união dos átomos dos elementos em proporções numéricas simples, por exemplo, 1 átomo A + 1 átomo B (1:1); 1 átomo A + 2 átomos B (1:2); 2 átomos A + 2 átomos B (2:2); 2 átomos A + 3 átomos B (2:3); etc. (MARTINS, 2001, p. 9).

Podemos dizer que os átomos imaginados por Dalton são sempre idênticos entre si, quando pertencem ao mesmo elemento, mas o que difere o átomo de um elemento para um átomo de outro elemento, é sua massa e volume. Quando esses elementos se combinam, não ocorre nenhuma alteração, pois sempre se dá por números inteiros de átomos, uma vez que para Dalton, esses átomos são indivisíveis e indestrutíveis, essa combinação tem uma massa precisa: a soma das massas dos átomos que a compõem. (VIDAL, 1986). Nesse sentido, pensando didaticamente, a teoria atômica de Dalton ficou conhecida como modelo bola de bilhar (Figura 1), fazendo uma analogia a bola de tal esporte.

Figura 1 - Representação do Modelo Atômico Proposto por Dalton.



Fonte: Larissa Krause Marcon

Algumas ideias a respeito do Átomo proposto por Dalton são aceitas até hoje, apesar de sabermos que o Átomo é formado por partículas subatômicas, e que os Átomos de um mesmo elemento nem sempre têm a mesma massa, como é no caso dos isótopos. No entanto, a teoria atômica de Dalton foi uma verdadeira revolução para o conceito de Átomo, a sua contribuição é imensurável, sendo capaz de fornecer respostas satisfatórias para problemas químicos complexos e estimulando novos cientistas a considerar seriamente a pesquisa acerca do Átomo.

2.2.2 Teoria Atômica de Thomson

A teoria atômica de Dalton perdurou por aproximadamente um século, no meio científico, porém tal teoria não conseguia explicar as propriedades elétricas da matéria, foi necessária a proposta, idealizada pelo inglês Joseph Jhon Thomson (1856-1940), de uma nova teoria atômica para explicar essa propriedade intrínseca da matéria.

Já na Grécia antiga, fatos demonstravam que a matéria poderia ser divisível. Uma das primeiras demonstrações para a presença de cargas elétricas na matéria é o fenômeno da eletricidade estática, criada por meio do atrito de materiais com capacidade isolante. Este fenômeno era observado quando âmbar (eléctron, em grego), ao ser atritado em tecidos, adquiria a capacidade de atrair corpos leves (NIELS, 1967; ASSIS, 2010). Obviamente, na época não existia nenhuma explicação viável para este curioso fenômeno.

Os estudos ligados às propriedades elétricas da matéria só vieram a ter um grande prosseguimento quando foi desenvolvido um equipamento com a capacidade de produzir

eletricidade de maneira contínua e controlável a “pilha elétrica”. A primeira pilha elétrica foi montada pelo físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), no ano de 1800 (VIDAL, 1986). Algumas décadas depois, Michael Faraday (1791-1867), conhecido, sobretudo, pelos seus trabalhos em eletricidade na área da Física, estudou de forma quantitativa as leis da eletrólise e fundou, assim, a eletroquímica por volta do ano de 1832 (MARTINS, 2001).

Contudo, os experimentos que possibilitaram a concepção/idealização das partículas fundamentais da matéria envolveram estudos de descargas elétricas em alta voltagem que atravessavam gases em diferentes valores de pressões. O avanço nesta área de pesquisa dependeu do aprimoramento de técnicas em produção de ampolas de vidro, capazes de armazenar gases em baixas pressões, produzidas por Wiliam Crookes (1832-1919), que na década de 1870 realizava experimentos relativos à passagem elétrica nessas ampolas de vidros contendo gases rarefeitos. Em homenagem ao cientista, nomearam essas ampolas como “Tubos de Crookes” (MARTINS, 2001).

Devido ao interesse pela natureza dos raios catódicos, Thomson realizou vários experimentos envolvendo raios catódicos que foram publicados na *Philosophical Magazine*, em outubro de 1897 (THOMSON, 1897). É interessante observar os aspectos relevantes desse artigo de Thomson.

É interessante observar os aspectos relevantes desse artigo, primeiramente, Thomson nos apresenta o objetivo de suas experiências, especificamente, “espera-se obter alguma informação acerca da natureza dos raios catódicos” (THOMSON, 1897, p. 293, tradução nossa)¹. De acordo com seu objetivo, Thomson resume as características dos raios catódicos:

- a) Propagam-se em linha reta;
- b) Podem penetrar pequenas espessuras de matéria;
- c) Apresentam carga negativa;
- d) São defletidos por um campo elétrico;
- e) São defletidos por um campo magnético;
- f) Transportam considerável quantidade de energia cinética. (MARTINS, 2001, p. 22-23)

Em seguida, Thomson apresenta uma propriedade fundamental de seus experimentos; concluindo que os raios catódicos se comportam igualmente, seja qual for o gás que o raio atravessa, de forma que:

À medida que os raios catódicos transportam uma carga de eletricidade negativa, eles são desviados por uma força eletrostática como se fossem eletrificados negativamente, e têm este particular efeito causado por uma energia magnética especificamente da

¹ “Hope of gaining some information as to the nature of the Cathode” (Thomson, 1897, p. 293).

maneira na qual esta energia atuaria em um corpo eletrificado negativamente movendo-se ao longo do caminho desses raios; não consigo vislumbrar outra conclusão a não ser que aqueles são cargas de eletricidade negativa transmitidas por partículas de matéria. (THOMSON, 1897, 302, tradução nossa).²

Com esses fatos, Thomson (1897, p.302) realiza os seguintes questionamentos, “o que são essas partículas? São átomos, moléculas ou matéria em um estado ainda mais fino de subdivisão?” Para buscar a solução do problema, ele decidiu que teria que definir a massa e a carga dessa partícula.

Para lançar alguma luz sobre este tópico, eu fiz uma série de medições entre a taxa de massa dessas partículas e a carga transportada por ela. Para determinar esta quantidade, eu usei dois métodos independentes. (THOMSON, 1897, p. 302, tradução nossa).³

Dessa forma, Thomson demonstrou a importância de definir a massa (m) e a carga (e), para realizar a análise da relação m/e do raio catódico, que o ajudaria a determinar se os raios catódicos são partículas semelhantes a íons, ou uma partícula estrutural – neste caso, ele usa a palavra universal – da matéria. Ao longo do artigo, Thomson (1987) relata os resultados dessa relação massa/carga (m/e), sendo seu valor igual a 10^{-7} .

O autor busca explicar que o valor baixo de m/e pode estar relacionado à quantidade de massa da partícula, por sinal pequena, a um valor alto de carga, ou ainda à combinação desses dois fatores. Thomson ainda sugere que o baixo valor de m/e foi devido a ambos os fatores.

Com essa importante definição, Thomson nos apresenta sua teoria atômica:

Assim, nesta perspectiva nós temos na matéria de raios catódicos um novo estado; um estado no qual a subdivisão da matéria é transportada muito além do que no estado gasoso usual: um estado em que toda a matéria – isto é, a matéria obtida de diversas fontes tais como: hidrogênio, oxigênio, etc. – é de um único tipo; sendo esta a substância da qual todos os elementos químicos são construídos. (THOMSON, 1897, p. 312, tradução nossa).⁴

² “As the cathode rays carry a charge of negative electricity, are deflected by an electrostatic force as if they were negatively electrified, and are acted on by a magnetic force in just the way in which this force would act on a negatively electrified body moving along the path of these rays, I can see no escape from the conclusion that they are charges of negative electricity carried by particles of matter” (THOMSON, 1897, p.302).

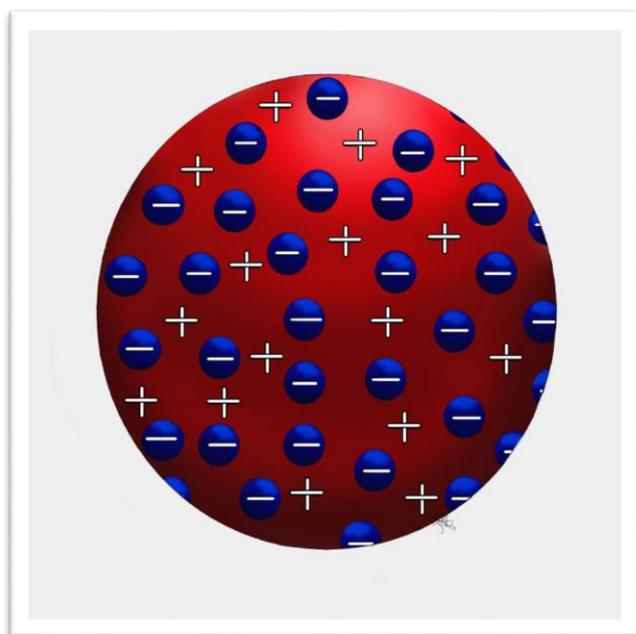
³ “To throw some light on this point, I have made a series of measurements of the ratio of the mass of these particles to the charge carried by it. To determine this quantity, I have used two independent methods” (THOMSON, 1897, p.302).

⁴ Thus on this view we have in the cathode rays matter in a new state, a state in which the subdivision of matter is carried very much further than in the ordinary gaseous state: a state in which all matter – that is, matter derived from different sources such as hydrogen, oxygen, etc. – is of one and the same kind; this being the substance from which all the chemical elements are built up. (THOMSON, 1897, p. 312).

Thomson chamou essa partícula que forma todos os elementos químicos de corpúsculo de elétron. Dessa forma, Thomson dividiria o indivisível e propunha a existência de um componente universal da matéria.

Os experimentos realizados com os raios catódicos levaram Thomson, em 1904, em um novo artigo, a propor o seu modelo atômico que ficou conhecido como pudim de passas. Nesse modelo, o átomo era formado por uma esfera carregada de maneira homogênea com carga positiva e os famosos corpúsculos com carga elétrica negativa se movimentando em seu interior, dentro de anéis concêntricos (Figura 2), nos quais cada átomo apresentava certa quantidade de elétrons, que o manteria neutro (THOMSON, 1904).

Figura 2 - Representação do Modelo Atômico de Thomson.



Fonte: Larissa Krause Marcon

2.2.3 A Teoria Atômica de Rutherford

A teoria atômica de J.J. Thomson apresentava a resposta a respeito da razão pela qual a matéria teria propriedades elétricas, porém não conseguia explicar o motivo pelo qual os experimentos realizados com partículas radioativas – descobertas por Becquerel (1852-1908) e o Casal Curie (Marie (1867-1934); Pierre (1859-1906)), alguns anos depois, por dois outros cientistas Geiger (1882-1945) e Mansder (1889-1970) – demonstravam que o átomo continha mais espaço vazio do que havia proposto J. J. Thomson. Ernest Rutherford em posse dos dados

experimentais sugeriu uma nova teoria atômica que viesse explicar os resultados obtidos experimentalmente.

Desde 1909, foram realizados vários estudos por Ernest Rutherford e seus colegas (Geiger e Mansder) em relação às propriedades radioativas da matéria, porém a primeira hipótese de um modelo atômico nuclear foi publicada em maio de 1911, na famosa e já citada revista *Philosophical Magazine* (RUTHERFORD, 1911).

Logo no início do artigo, Rutherford faz uma nota, sinalizando que a teoria atômica de Thomson não consegue explicar os resultados obtidos em seus experimentos:

A teoria do Senhor J. J. Thomson é baseada na hipótese de que a dispersão devida a um único encontro atômico é pequena, e a estrutura peculiar presumida para o átomo não admite uma deflexão muito extensa de uma partícula alfa que atravessa um único átomo, a menos que supuséssemos que o diâmetro da esfera de eletricidade positiva fosse diminuto, comparado com o diâmetro da influência do átomo. (RUTHERFORD, 1911, p. 670, tradução nossa).⁵

Percebemos que ao final da citação, Rutherford já apresenta uma parte de sua teoria atômica, a qual se opõe à teoria de Thomson. Um pouco mais a frente, Rutherford demonstra alguns resultados obtidos em laboratório, que dão base a sua teoria:

As observações de Geiger e Marsden [1909], entretanto, sobre a dispersão dos raios Alfa indicam que algumas das partículas Alfa podem sofrer uma deflexão maior do que a de um ângulo reto em um único encontro. Eles descobriram, por exemplo, que uma pequena fração das partículas alfa incidentes, aproximadamente 1 em cada 20000 (uma em cada vinte mil) atravessou no ponto médio de um ângulo de, em média, 90° (noventa graus) ao passar através de uma camada de folha de ouro de aproximadamente 0,00004 (quatro milionésimos) cm de espessura. ... Um simples cálculo baseado na teoria da probabilidade mostra que a chance de uma partícula Alfa ser desviada através de um ângulo de 90° (noventa graus) é muito pequena. Além do que, veremos posteriormente que a distribuição das partículas Alfa por vários ângulos de grande desvio não obedece a lei da probabilidade (hipoteticamente esperada) se tais grandes deflexões forem compostas de um grande número de pequenos desvios. Parece razoável imaginar que o desvio por meio de um ângulo extenso seja devido a um único encontro atômico; pela possibilidade de um segundo encontro do mesmo tipo gerar um grande desvio, deveria, na maior parte das hipóteses, ser muito pequeno. Um cálculo simples mostra que o átomo deve ser um assento de um campo elétrico extremo com o propósito de gerar tal grande desvio em um único encontro. (RUTHERFORD, 1911, p. 669, tradução nossa).⁶

⁵ “The theory of Sir J. J. Thomson is based on the assumption that the scattering due to a single atomic encounter is small, and the particular structure assumed for the atom does not admit of a very large deflexion of an alpha particle in traversing a single atom, unless it be supposed that the diameter of the sphere of positive electricity is minute compared with the diameter of the influence of the atom”. (RUTHERFORD, 1911, p. 670).

⁶ “The observations, however, of Geiger and Marsden [1909] on the scattering of alpha rays indicate that some of the alpha particles must suffer a deflexion of more than a right angle at a single encounter. They found, for example, that a small fraction of the incident alpha particles, about 1 in 20,000 were turned through an average angle of 90° in passing through a layer of gold-foil about.00004 cm. thick. ... A simple calculation based on the theory of probability shows that the chance of an alpha particle being deflected through 90° is vanishingly small. In addition, it will be seen later that the distribution of the alpha particles for various angles of large deflexion does not follow

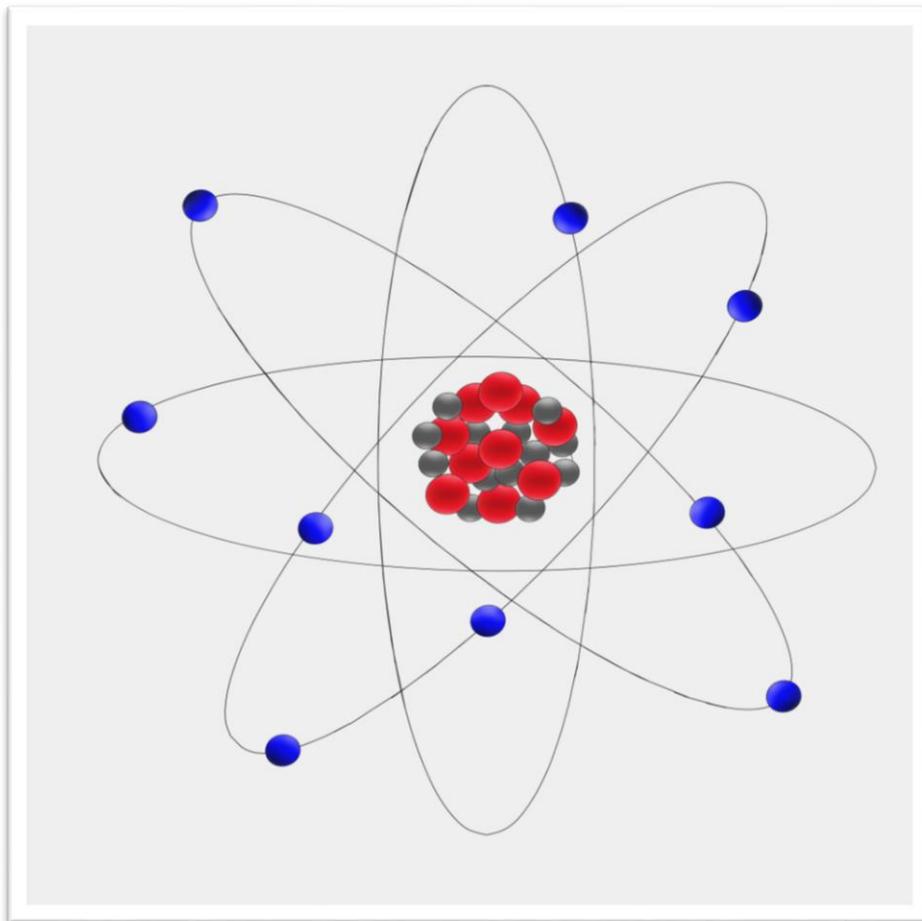
Antes da publicação do artigo de Rutherford (1911), Geiger e Marsden já estudavam o espelhamento de partículas alfas produzidas por folhas finas desde 1909, porém somente no ano de 1913 publicaram o trabalho denominado “*The Laws of Deflection of α – Particles Though Large Angles*” (MARTINS, 2001).

Rutherford realizava seus experimentos com a finalidade de comprovar se a teoria de Thomson seria verdadeira, porém com os resultados obtidos, as partículas alfas eram desviadas com ângulos muito grandes. Se fosse considerar o modelo atômico de Thomson, o espalhamento produzido por cada átomo individual deveria ocorrer em pequenos ângulos, se chegasse. Uma solução poderia estar relacionada a espalhamentos múltiplos, porém estaticamente essa situação era pouco provável para Rutherford (MARTINS, 2001).

Essas conclusões levaram Rutherford a propor um modelo atômico que viria substituir a teoria de Thomson, no qual o átomo seria constituído por um núcleo positivo, pequeno e denso que contém aproximadamente toda a massa do Átomo, orbitado por elétrons (Figura 3) (VIDAL, 1986). Cálculos indicaram que o núcleo do átomo de ouro tem um raio aproximadamente 100.000 vezes menor, quando comparando com o raio do Átomo. O Átomo em sua maior parte é vazio, isso explicaria a razão pela qual a maior parte das partículas alfa incidentes sobre a folha de ouro atravessa sem nenhuma deflexão (RUTHERFORD, 1911).

the probability law to be expected if such large deflexions are made up of a large number of small deviations. It seems reasonable to suppose that the deflexion through a large angle is due to a single atomic encounter, for the chance of a second encounter of a kind to produce a large deflexion must in most cases be exceedingly small. A simple calculation shows that the atom must be a seat of an intense electric field in order to produce such a large deflexion at a single encounter”. (RUTHERFORD, 1911, p. 669).

Figura 3 - Modelo atômico de Rutherford,
Esferas azuis (elétrons), vermelhas (prótons) e cinzas (nêutrons)



Fonte: Larissa Krause Marcon.

Na época, foi apresentado o modelo atômico com uma configuração análoga ao nosso sistema planetário, levando a microfísica a uma representação do macrocosmo. Essa foi uma grande revolução científica, que trouxe modificações profundas no desenvolvimento do microcosmo (MARTINS, 2001).

2.2.4 O Átomo de Bohr

A teoria atômica de Rutherford prevaleceu por pouco tempo, pois foi complementada, quando questionada a respeito da estabilidade do Átomo, que resultou na nova teoria proposta por seu aluno Niels Bohr, que levava em consideração pesquisas realizadas na área da Física Quântica.

Uma das mais revolucionárias criações da Física e da Química, diferentemente das outras teorias até o momento aqui relatadas, não é resultado de experimentos, mas sim do

desenvolvimento de trabalhos teóricos, nos quais se iniciou a Física Quântica, que foi a admissão da ideia de quantum (do latim quantidade). Essa nova teoria representou uma enorme mudança na Física e nas teorias atômicas, que depois das conquistas que relatamos, nas subseções anteriores, carecia de melhores explicações referentes à emissão de radiação dos corpos (VIDAL, 1986).

Max Planck (1858-1947), físico alemão, fez, no ano de 1900, uma interpretação que determinou essa revolução. Planck concebeu que, por exemplo, a energia emitida por um corpo não é contínua, como uma espécie de fluido, e sim formada por quantidades pequenas, porém finitas, a qual denominou de “quantum de energia”. Assim, a energia passava a ser entendida, como formada por um número grande desse quantum, ou seja, a energia total de um corpo é formada por um determinado número de quantum. (PARTINGTON, 1937; VIDAL, 1986; CHASSOT, 2004).

Planck postulou que a energia não poderia ter valores que variassem de zero ao infinito, mas só deveriam ter valores iguais a: $0, \epsilon_0, 2 \epsilon_0, 3 \epsilon_0, \dots, n \epsilon_0$, em que ϵ_0 representa uma quantidade de energia finita, ou o quantum de energia, e n é um número inteiro. O valor de ϵ_0 é dado pela expressão

$$\epsilon_0 = h \cdot \nu$$

Em que h uma constante universal, que consagrou Planck, ficou conhecida como constante de Planck, cujo valor é $h = 6,62 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{seg}^7$, e ν representa a frequência da radiação (MARTINS, 2001).

A constante de Planck e a quantização da energia auxiliou Bohr a propor um modelo atômico que explicava a capacidade de emissões radioativas realizadas por corpos. Destaca-se, aqui, a influência dos trabalhos realizados pelo astrônomo e astrofísico J. W. Nicholson (1881-1955) que escreveu trabalhos relevantes, entre 1911 e 1912, sobre a emissão de radiação de estrelas e nebulosas (MARTINS, 2001).

Niels Bohr (1885-1962) foi orientado por J. J. Thomson no ano de 1911, não obtendo o sucesso esperado. No ano seguinte, foi para Manchester, onde realizou vários trabalhos,

⁷ O **erg** é a unidade de energia ou de trabalho no sistema de unidade, equivalente a 10^{-7} Joules

orientado por Rutherford (MARTINS, 2001). Um dos mais importantes foi aceito pela “*Philosophical Magazine*” em cinco de abril e publicado em julho de 1913 como primeira parte de uma trilogia (BOHR, 1913).

Bohr inicia seu artigo com estas palavras: “com a finalidade de explicar os resultados dos experimentos sobre a dispersão de raios através da matéria, o Professor Rutherford propôs uma teoria sobre a estrutura dos átomos” (BOHR, 1913, p. 1, tradução nossa)⁸. Em seguida, ele exemplifica o modelo apresentado por Rutherford dois anos antes,

De acordo com esta teoria, os átomos consistem de um núcleo positivo carregado e cercado por um sistema de elétrons mantidos unidos por energias atrativas provenientes de módulos nucleares a carga negativa total dos elétrons é igual à carga positiva do núcleo. Além disso, presume-se que o núcleo seja o assento da parte essencial da massa do átomo, e tenha dimensões lineares extremamente pequenas comparadas com as dimensões lineares do átomo como um todo (BOHR, 1913, p. 1, tradução nossa).⁹

Dando continuidade, Bohr demonstra as falhas existentes nos modelos apresentados por Rutherford e Thomson,

[...] dificuldades propositalmente evitadas em modelos atômicos previamente considerados, por exemplo, naquele proposto pelo senhor J. J. Thomson. De acordo com a suposição do último, o átomo compreende uma esfera eletrificada uniforme e positiva dentro da qual os elétrons movimentam-se em órbitas circulares. [...] O resultado da discussão dessas questões parece ser a confirmação genérica da imperfeição da eletrodinâmica clássica modular ao descrever o comportamento dos sistemas de tamanho atômico. (BOHR, 1913 p. 2, tradução nossa).¹⁰

Observamos que Bohr destaca como falha principal a instabilidade do átomo que não suportaria a atração de seu núcleo positivo, aos elétrons que perderiam energia (emitindo radiação) até o momento que se chocariam ao núcleo, destruindo o átomo. Ele nos prepara para a introdução da física quântica, para explicar o universo subatômico, universo esse que não pode ser pensado da mesma forma que o universo em geral como é no caso da Eletrodinâmica.

⁸ “In order to explain the results of experiments on scattering of a rays by matter Prof. Rutherford t has given a theory of the structure of atoms”. (BOHR, 1913, p. 1).

⁹ “According to this theory, the atoms consist of a positively charged nucleus surrounded by a system of electrons kept together by attractive forces from tile nucleus; the total negative charge of the electrons is equal to the positive charge of the nucleus. Further, the nucleus is assumed to be the seat of the essential part of the mass of the atom, and to have linear dimensions exceedingly small compared with the linear dimensions of the whole atom”. (BOHR, 1913, p. 1).

¹⁰ “[...] difficulties purposely avoided in atom-models previously considered, for instance, in the one proposed by Sir J. J. Thomson. According to the theory of the latter the atom consists of a sphere of uniform positive electrification, inside which the electrons move in circular orbits. [...] The result of the discussion of these questions seems to be a general acknowledgment of the inadequacy of tile classical electrodynamics in describing the behaviour of systems of atomic size”. (BOHR, 1913, p. 2).

Bohr (1913, p. 2) afirma que “[...] parece ser necessário inserir nas leis em questão uma grandeza estranha à eletrodinâmica clássica, isto é, a “Constante de Planck” ou como ela é frequentemente chamada de “quantum elementar de ação”¹¹.

A solução do Bohr para esses problemas foi apresentada pelos seguintes postulados (MARTINS, 2001 p. 53-54)

(i) Em um sistema atômico há um número de estados nos quais não existe emissão de radiação, em que os elétrons estão em movimento relativo um com o outro, mas não ocorre nenhuma emissão de radiação, pois segundo a eletrodinâmica clássica, esses estados são conhecidos como “estados estacionários do sistema”.

(ii) Qualquer emissão ou absorção de radiação deverá corresponder a uma transição (do elétron) entre dois estados estacionários, essa radiação absorvida ou emitida é homogênea e a sua frequência ν é determinada pela relação:

$$h\nu = W_1 - W_2$$

Onde h é a constante de Planck, W_1 e W_2 são as energias dos estados estacionários.

(iii) O equilíbrio dinâmico do sistema nesses estados estacionários é governado pelas leis comuns da Mecânica Clássica, porém esta lei não se aplica a transições de um estado para o outro.

(iv) Os diferentes possíveis estados estacionários são constituídos por elétrons solitários orbitando um núcleo positivo, tendo um momento angular L dado pela equação:

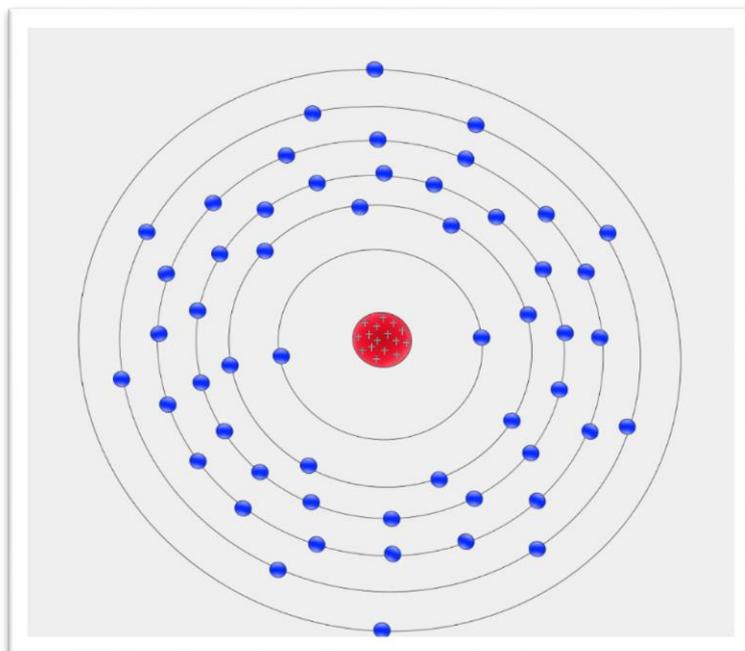
$$L = n \cdot (h/2\pi)$$

Onde h a constante de Planck e n é um número inteiro positivo, chamado usualmente de “número quântico”.

Dessa forma, o modelo atômico de Bohr (Figura 4) contribui para a estabilidade do átomo de Rutherford, que ficou conhecido por muitos como o modelo de Rutherford-Bohr (GALIAZZI et al., 1997; CORDEIRO e PEDUZZI, 2013). Didaticamente, o número quântico, atualmente é conhecido como camadas ou níveis de energia, no qual o elétron, ao absorver ou emitir radiação de um valor específico, “salta” de uma camada a outra.

¹¹ “[...] it seems necessary to introduce in the laws in question a quantity foreign to the classical electrodynamics, i. e., Planck’s constant, or as it often is called the elementary quantum of action”. (BOHR, 1913, p. 2).

Figura 4- Modelo atômico de Bohr.



Fonte: Larissa Krause Marcon

Segundo Martins (2001), o modelo de Bohr contribuiu para o desenvolvimento da pesquisa do momento magnético atômico. O giro dos elétrons em órbita é responsável pela geração de um campo magnético, e conseqüentemente, o aparecimento do momento magnético orbital. Diante do exposto, é importante ressaltar que essa foi uma teoria revolucionária para o desenvolvimento não só da Química e da Física, mas da Ciência como um todo.

2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COMO SUPORTE DA PESQUISA

Pensando na aprendizagem dos alunos, para que eles desenvolvam o seu conhecimento a respeito do Átomo com significado, buscamos suporte na Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Essa teoria teve o seu desenvolvimento na década de 1960. Uma das primeiras obras que a cita foi publicada, no ano de 1963, com o título “*The psychology of meaningful verbal learning*” (AUSUBEL, 1963). Essa obra foi atualizada por Ausubel, no ano de 2000, e traduzido para o português como “Aquisição e Retenção de Conhecimentos: uma Perspectiva Cognitiva”, no ano de 2003 (MOREIRA et al., 2003).

David Ausubel foi um psicólogo norte americano que propôs, na década de 1960, a teoria da aprendizagem significativa, dando origem a termos como subsunçores¹², e organizadores prévios. Essa perspectiva deslocava o entendimento de aprendizagem da teoria behaviorista, que se baseava no processo de estímulo e resposta, para uma teoria que favorecia o conhecimento prévio do aluno para a construção de novos conceitos.

Um dos primeiros artigos a fazer menção aos organizadores avançados/prévios foi publicado por Ausubel, no ano 1960, denominado “O uso de organizadores avançados no aprendizado e retenção de material verbal significativo”¹³. Esse estudo trouxe a hipótese “que o aprendizado e retenção de material verbal não conhecido, todavia, significativo pode ser facilitado pela apresentação antecipada de conceitos agrupados e relevantes.”¹⁴ (AUSUBEL 1960, p. 5, tradução nossa). O autor explica que

Um organizador avançado é um mecanismo pedagógico que ajuda a implementar estes princípios, estabelecendo uma ligação entre aquilo que o aprendiz já sabe e aquilo que precisa de saber, caso necessite de apreender novos materiais de forma mais ativa e expedita. A situação mais imediata que faz com que um organizador avançado seja desejável e potencialmente eficaz no estabelecimento desta ligação é que, na maioria dos contextos de aprendizagem significativa [...]. (AUSUBEL, 2003, p. 11).

Ausubel (1963) destaca que os organizadores avançados/prévios não são como os sumários e as visões generalizadas que ressaltam as ideias principais que se apresentam no mesmo grau de abstração e generalidade do material. Esses organizadores agem como uma ponte entre a nova ideia e a já existente.

O autor ainda defende que a Teoria da Aprendizagem Significativa se baseia em princípios, cujo principal fundamento, o fator mais importante de que depende a aprendizagem de um aluno é aquilo que ele já sabe, ou seja, aquilo que está incorporado na sua estrutura cognitiva (AUSUBEL, 1963), o que fica evidente em alguns trechos de sua obra:

Um organizador avançado é um mecanismo pedagógico que ajuda a implementar estes princípios, estabelecendo uma **ligação** entre aquilo **que o aprendiz já sabe** e aquilo que precisa de saber, caso necessite de apreender novos materiais de forma mais ativa e expedita. (AUSUBEL, 2003, p. 11, grifos nosso).

¹² O termo Subsunçor, para Ausubel, é o conhecimento que o aluno apresenta em seu cognitivo, esse conhecimento prévio do aluno funciona como um ancoradouro para o novo conhecimento, como veremos no decorrer do capítulo.

¹³ “The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material”.

¹⁴ “That the learning and retention of unfamiliar but meaningful verbal material can be facilitated by the advance introduction of relevant subsuming concepts”. (AUSUBEL, 1968, p. 5).

[...] a aprendizagem significativa ocorre se a tarefa de aprendizagem se puder relacionar de forma não arbitrária e não literal àquilo que **o aprendiz já sabe** e se este adoptar um mecanismo de aprendizagem correspondente para o fazer. (AUSUBEL, 2003, p. 52, grifo nosso).

O autor enfatiza a importância do conhecimento que o aluno já construiu para a obtenção/construção de um novo conhecimento, esse conhecimento intrínseco do aprendiz, foi denominado por Ausubel como subsunçor, que funciona como um ancoradouro para o novo conhecimento. Dessa forma, para Ausubel (2003, p. 1) a aprendizagem significativa seria:

que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos.

Considerando que essas ideias ancoradas aos subsunçores são relacionadas com o novo conhecimento, o que possibilita, dessa maneira, uma aprendizagem significativa, os subsunçores funcionam como uma âncora em que o novo conhecimento se apoia para ser entendido.

De forma a indicar que a aprendizagem significativa envolve uma interação seletiva entre o novo material de aprendizagem e as ideias preexistentes na estrutura cognitiva [...]. ao longo do tempo. Por exemplo, no processo de subsunção, as ideias subordinantes preexistentes fornecem ancoragem à aprendizagem significativa de novas informações. (AUSUBEL, 2003, p. 3).

O autor destaca que um fator importante para que ocorra a aprendizagem significativa é que o material seja potencialmente significativo, pois, caso o material não seja significativo, a aprendizagem significativa se tornará inviável, caracterizando o que Ausubel denomina como uma aprendizagem mecânica.

A necessidade de um material potencialmente significativo, que consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam com aquilo que o aprendiz já traz de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta relação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo (AUSUBEL, 2003).

Além do já mencionado, outra condição para que ocorra a aprendizagem significativa é que os alunos demonstrem uma metodologia para aprender, ou seja, disposição para se relacionar com o novo conceito a ser aprendido, de forma não arbitrária e não literal. Dessa forma, apesar da potencialidade significativa do material, se o objetivo do aluno for memorizar

de forma arbitrária e literal, o resultado da aprendizagem necessariamente será sem sentido (AUSUBEL, 2003).

Dessa forma, além de um material potencialmente significativo é necessário que o aluno apresente disposição para a aprendizagem, fugindo da memorização e da arbitrariedade no processo de aprendizagem, mas qual seria o papel do professor na aprendizagem significativa?

O papel do professor vem como o facilitador da aprendizagem significativa do aluno, em que é responsável por identificar os subsunçores presentes no aluno, e utilizá-los de maneira que o aluno tenha uma aprendizagem significativa não arbitrária e não literal.

Nesse contexto, podemos inferir que a História e a Epistemologia da Ciência podem auxiliá-lo na aprendizagem significativa de seus alunos, uma vez que o conhecimento da história de determinado conteúdo é essencial para o processo de ensino e de aprendizagem. Nesse caso, o professor pode utilizar a própria História e Epistemologia da Ciência como organizadores prévios para aprendizagem de um conceito científico, como no caso do conceito *Átomo*.

Segundo Ausubel (2003), na aprendizagem significativa, quando o aluno aprende, ele vai diferenciando progressivamente e reconciliando integrativamente os novos conhecimentos com os que já sabe. Nesse sentido, a diferenciação progressiva, “reconhece que a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstração, generalidade e inclusão” (AUSUBEL, 2003, p. 6). Já a reconciliação integrativa

tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou materiais de instruções anteciparem e contra atacarem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes. (AUSUBEL, 2003, p.6).

A diferenciação progressiva trata da de um princípio natural, no qual o aluno organiza os subsunçores de maneira hierárquica, partindo de um conceito mais abrangente para um conceito menos abrangente, ou seja, de um conceito mais geral para um conceito menos geral. Já a reconciliação integrativa, o professor ou o material deve instigar o aluno a analisar as diferenças e semelhanças entre os conceitos.

Segundo Pivatto e Schumacher (2013, p. 203),

A construção de mapas conceituais possibilita uma estruturação hierárquica dos conceitos, tanto por diferenciação progressiva como por reconciliação integrativa. O princípio da diferenciação progressiva procede de maneira hierárquica, indo das ideias

mais gerais para as mais específicas, enquanto no princípio da reconciliação integrativa, consiste basicamente no delineamento explícito das relações entre ideias.

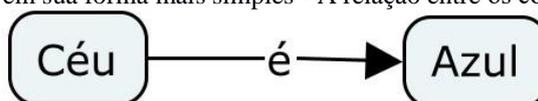
Para os autores, uma forma de se obter indícios de aprendizagem significativa, e conseqüentemente a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa é a construção de mapas conceituais. Tal conceito será tratado a seguir.

2.3.1 Mapa Conceitual como organizador das noções dos alunos

Os Mapas Conceituais são instrumentos gráficos desenvolvidos por Novak na década de 1970, para a organização e representação do conhecimento. Eles incluem conceitos, geralmente dentro de círculos ou formas geométricas e as relações existentes entre esses conceitos. Essas relações são indicadas por linhas que os interligam e palavras ou frases de ligação sobre essas linhas, que especificam a relação existente entre dois conceitos (NOVAK; CANÃS, 2010).

Em sua forma mais simples, um mapa de conceitos consta apenas de dois conceitos unidos por uma palavra de ligação de modo a formar uma proposição¹⁵ (NOVAK; GOWIN, 1996). Como exemplo, a Figura 5 mostra a relação entre os conceitos céu e azul, sendo ligado pela palavra “é”.

Figura 5 - Um mapa conceitual em sua forma mais simples - A relação entre os conceitos “Céu” e “Azul.



Fonte: adaptado (NOVAK; GOWIN, 1996).

Novak, baseado nas ideias de aprendizagem significativa de David Ausubel (AUSUBEL, 1963), no início da década de 1970, identificou uma maneira gráfica de representar como o conhecimento é organizado cognitivamente, mediante as relações existentes entre conceitos.

O autor apresenta uma sugestão de como utilizar os mapas conceituais na prática de ensino e de aprendizagem, que pode auxiliar o professor e os alunos a definirem conceitos principais/fundamentais para focarem em suas tarefas, propiciando uma aprendizagem

¹⁵ Uma proposição consiste em dois ou mais termos conceptuais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica. (NOVAK; GOWIN, 1996).

significativa. Sendo que isso pode ser realizado antes do início dos estudos do conteúdo específico.

Durante o processo de aprendizagem, um mapa conceitual pode ser utilizado como um mapa geográfico, mostrando os trajetos existentes para ligar os significados de conceitos formando as proposições (NOVAK; GOWIN, 1996), o que pode representar a aprendizagem dos alunos, mediante as relações que esse aluno faz entre os conceitos aprendidos.

Nesse contexto, o autor propõe o mapa como um instrumento para levantar o que foi aprendido pelo aluno: “depois de terminada tarefa de aprendizagem, os mapas conceituais mostram um resumo esquemático do que foi aprendido” (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 31). O que possibilita ao professor identificar indícios ou não de uma aprendizagem significativa a respeito do conteúdo trabalhado.

Uma vez que os mapas conceituais constituem uma representação explícita e manifesta dos conceitos e das proposições que uma pessoa possui, eles permitem aos professores e alunos trocar os seus pontos de vista sobre a validade de uma determinada ligação preposicional, ou reconhecer a falta de ligações entre conceitos que sugerem a necessidade de uma nova aprendizagem. (NOVAK; GOWIN, 1996, p. 35-36).

Vale salientar que não existe o mapa conceitual certo ou errado, o importante é que o instrumento cumpra seu objetivo, demonstrando como estão organizadas as relações entre os conceitos, na estrutura cognitiva de quem o elaborou. Dessa forma, podem haver várias maneiras de apresentar um mapa conceitual com os mesmos conceitos, seguindo a individualidade de cada um, da maneira como estão organizados cognitivamente tais conceitos.

Novak e Gowin (1996, p. 114) relacionam os mapas conceituais com a ideia de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa pertencente a Ausubel.

O princípio de Ausubel da diferenciação progressiva estabelece que a aprendizagem significativa é um processo contínuo, no qual novos conceitos adquirem maior significado à medida que são alcançadas novas relações (ligações preposicionais). Assim, os conceitos nunca são “finalmente aprendidos”, mas sim permanentemente enriquecidos, modificados e tornados mais explícitos e inclusivos à medida que se forem progressivamente diferenciando. A aprendizagem é o resultado de uma mudança do significado da experiência, e os mapas conceituais são um método de mostrar, tanto ao aluno como ao professor, que ocorreu realmente uma reorganização cognitiva.

Dessa forma, mapa conceitual pode ser utilizado antes, durante e depois da aprendizagem de certo conteúdo, possibilitando uma infinidade de possíveis maneiras que o professor possa utilizá-lo em sala de aula, oportunizando ao professor a identificação de

possíveis concepções alternativas¹⁶, bem como utilizar, o mapa conceitual, como instrumento para a coleta de dados e para avaliação. É importante que na utilização de mapas conceituais, que o aluno ao elaborá-lo explique o mapa, por exemplo, por meio de entrevista ou por uma explicação escrita, como foi utilizado neste trabalho.

¹⁶ Concepção alternativa (do inglês *misconception*) é o termo normalmente usado para descrever uma interpretação inaceitável (e não necessariamente “errada”) de um conceito, ilustrada por uma frase na qual se inclui o conceito. O significado expresso não constitui, porém, uma concepção alternativa para a pessoa que o manifesta, trata-se sim de um significado funcional. Em parte, por esta razão, as concepções alternativas são extraordinariamente estáveis e podem persistir durante anos (veja-se Novak, 1993). As investigações sugerem que o melhor método para corrigir uma concepção alternativa consiste em identificar um ou vários conceitos ausentes, que, ao integrarem-se na estrutura conceptual do indivíduo, eliminarão tal concepção (NOVAK; GOWIN, 1996).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa tem a característica de uma pesquisa qualitativa que

[...] não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa opõem-se ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências, já que as ciências sociais têm sua especificidade, o que pressupõe uma metodologia própria. (GOLDENBERG, 1997, p. 34).

O autor da citação destaca que os investigadores que utilizam a pesquisa qualitativa têm como objetivo buscar respostas mediante dos fatos acontecerem, não quantificando valores. Isso porque esses dados não são possíveis de mensurar numericamente, podendo ser analisados com diferentes abordagens.

Para Minayo (2001), a pesquisa qualitativa trabalha com um universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos às medidas métricas. Indo de encontro com a pesquisa quantitativa, tem aumentado seu campo de atuação nas áreas da Psicologia e da Educação.

Neste trabalho, realizamos uma revisão sistemática com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios a respeito do uso da História da ciência, voltado para o ensino de Química.

Podemos definir uma revisão sistemática como

uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados da literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. (SAMPAIO; MANCINI, 2007, p. 84).

A revisão sistemática é um instrumento importante, usada “para integrar as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente sobre determinado tema, que podem apresentar resultados conflitantes e/ou coincidentes, bem como identificar temas que necessitam de evidência”. (SAMPAIO; MANCINI, 2007, p. 84).

Algumas etapas foram percorridas para o desenvolvimento deste estudo. Como primeiro passo, fez-se necessária a seleção dos periódicos/revistas científicas, que passariam pelos critérios de exclusão da revisão sistemática. Para isso, foi utilizada a plataforma Sucupira, na qual foram selecionados periódicos, com *Qualis* restrito (A1, A2 e B1), na área de ensino.

Tal revisão revelou poucos estudos a respeito do assunto em sala de aula. Foram analisados 5136 artigos, no intervalo do decênio de 2007-2017, e somente um tratava da aplicação da História da Ciência (doravante HC) em sala de aula de Química.

Em seguida, realizou-se uma revisão bibliográfica, um resgate histórico da Química e dos principais cientistas atomistas, no qual John Dalton, Joseph John Thomson, Ernest Rutherford e Niels Bohr foram relatados, considerando suas principais características e suas respectivas teorias atômicas, buscando sempre que possível contextualizar os esclarecimentos científicos e tecnológicos que proporcionaram a proposta de uma nova teoria.

Além das buscas em fontes primárias para o levantamento histórico do conceito Átomo, foram utilizadas as fontes primárias para uma breve apresentação da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e do mapa conceitual de Novak, que foi utilizado como instrumento de coleta de dados.

Com esses recursos levantados, elaborou-se uma Sequência Didática referente aos modelos atômicos para ser aplicada em 10 encontros de duas horas aula cada, em uma turma de quinze alunos, sete meninos e oito meninas, com faixa etária entre 14 e 18 anos do 1º ano do Ensino Médio de um colégio localizado no Norte do Paraná.

Essa sequência didática teve o objetivo de apresentar aos alunos do Ensino Médio uma proposta para se trabalhar a História e Epistemologia da Ciência, utilizando uma abordagem Histórico-Epistemológica do conceito Átomo. Tais etapas serão apresentadas no tópico a seguir.

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA UTILIZADA COMO PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional dessa proposta será a sequência didática, que pode ser acessada no site do Programa de Pós-Graduação em Ensino (PPGEN) pelo link <<https://uenp.edu.br/ppgen-produtos-educacionais>>. Uma sequência didática é considerada como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (...).” (ZABALA, 1998, p. 18).

Essa sequência didática foi estruturada na teoria da aprendizagem significativa. Os encontros são apresentados no Quadro 1:

Quadro 1 - Quadro geral da Sequência Didática

Encontro (Quantidade de Horas aula)	Objetivo	Justificativa	Instrumento Avaliativo
1º ENCONTRO Diagnóstico (2h)	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar conhecimentos prévios dos alunos • Construir Mapa Conceitual 	Conhecer os subsunçores dos alunos	Mapa conceitual diagnóstico (M1)
2º ENCONTRO Introdução (2h)	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar as primeiras Teorias – Atomista e naturalista • Aplicar atividade de comparação entre Atomistas e Naturalistas (Atividade I) 	O fornecimento de organizadores prévios	Atividade de Comparação entre os filósofos Atomistas e Naturalistas (APENDICE A)
3º ENCONTRO Problemática e Atividade (2h)	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar as Leis de Proust e Lavoisier • Propor a produção escrita das cartas. 		
4º e 5º ENCONTROS Recursos e Pesquisa (4h)	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecer recursos necessários aos alunos, (livros didáticos, Sites, vídeos, entre outros), para que eles tenham condições para redigir as cartas • Produção escrita das cartas. 	Construção do conhecimento que será englobado pelos subsunçores	As cartas escritas pelos grupos (APENDICE B)
6º, 7º e 8º ENCONTROS Compartilhamento de Informações (6h)	<ul style="list-style-type: none"> • Escrever cartas – Continuação 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer a relação da construção do conhecimento de um Cientista ao outro com leitura das Cartas. 		

<p>9º ENCONTRO Atividade Final (2h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Construir Mapa Conceitual 	<p>Identificar indícios de aprendizagem significativa</p>	<p>Mapa Conceitual Final M2</p>
<p>10º ENCONTRO Finalização (2h)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Concluir o conteúdo apresentando que até hoje se busca uma explicação para a matéria-prima do Universo; 	<p>Identificar indícios de aprendizagem significativa</p>	<p>Diálogo com os alunos</p>

Fonte: Os Autores.

Tal sequência didática foi dividida em dez encontros, nos quais cada um apresentou um objetivo e justificativa, referenciando a aprendizagem significativa.

Para o primeiro encontro **Diagnóstico**, o professor analisou os conhecimentos prévios dos alunos referentes ao conceito Átomo. Neste encontro, foi proposto a construção de um mapa conceitual para evidenciar possíveis organizadores prévios, para ajudá-los na construção de seu conhecimento de maneira significativa. Vale ressaltar que os alunos já sabiam construir mapas conceituais.

O encontro **Introdução** foi realizado para apresentar o conceito Átomo, iniciando pela etimologia da palavra átomo, em seguida, pelos conceitos dos filósofos. Por fim, aplicou-se uma atividade de comparação entre os filósofos naturalistas e atomistas (Atividade I–APÊNDICE A). Esse encontro serviu para estimular o aluno a respeito do significado do conceito Átomo desenvolvido durante a História da Ciência, preparando-o para uma aprendizagem significativa.

No encontro referente à **Problemática e Atividade** foi proposto um desafio, uma atividade incitadora. Nessa atividade, a proposta era que os alunos redigissem uma carta, como se vivessem entre os séculos XIX e XX, para entrevistar ou conversar com um dos cientistas que propuseram as principais teorias atômicas nesse período, seria como uma “viagem no tempo” (APÊNDICE B).

Tal atividade tem como objetivo incentivar o aluno a pesquisar, indo além do simples “copiar e colar”, incentivando o aluno a escrever a pesquisa em forma do gênero textual Carta, fazendo com que o aluno realize uma pesquisa mais proveitosa e aprimorando seu conhecimento.

Nos encontros referentes aos **Recursos/pesquisa**, os alunos trabalharam em grupo ou individualmente para resolver a problemática lançada pelo professor. Na busca de respostas para a atividade em questão, coube ao professor orientar os alunos fornecendo recursos para a pesquisa, podendo englobar diferentes fontes de pesquisa, como livros e páginas da internet.

Os encontros do **Compartilhamento de Informações** foram realizados após a pesquisa dos alunos e no compartilhamento das informações com os colegas. O professor foi o mediador, auxiliando os alunos para a aprendizagem acerca do conceito em questão.

O encontro **Atividade Final** ficou para o professor ter o *feedback*, para que o processo fosse finalizado com sucesso. O professor avaliou o aluno para identificar indícios de aprendizagem significativa. Neste encontro, foi proposto ao aluno a construção de um segundo mapa conceitual como instrumento avaliativo e de coleta de dados.

No encontro **Finalização**, professor e alunos concluíram o assunto destacando os pontos positivos e negativos da atividade, e as dúvidas a respeito do conteúdo trabalhado.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A COLETA DE DADOS

Conforme já relatado, os dados foram coletados a partir de uma amostra de quinze alunos, utilizando dois mapas conceituais (M1 e M2) de cada aluno, atividades aplicadas como apoio (comparação dos filósofos naturalistas e atomistas (Atividade I) e a elaboração das Cartas). Na construção do mapa do M1 foram observados confusões a respeito da estrutura atômica. Neste momento, o professor solicitou que representassem o Átomo em um desenho, o qual foi utilizado para auxiliar na análise emergente categorial.

Após a construção de cada mapa conceitual e suas respectivas explicações fornecidas pelos alunos, optou-se em analisar somente as atividades daqueles que participaram em todos os encontros e que apresentaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TECLE) assinado por um responsável legal, no qual a identidade foi preservada.

Vale ressaltar que dos quinze alunos pesquisados, somente oito participaram de todas as etapas da pesquisa, portanto para a análise, optou-se somente pelas atividades dos oitos alunos que participaram dos dez encontros. Depois de selecionados os alunos, foram codificados aleatoriamente, com a letra A, acompanhado de n , que representa um número inteiro (1; 2; 3 ... 8), os mapas foram codificados em M1 e M2.

Outro fator considerado na escolha das atividades analisadas foi identificar se o mapa conceitual que o aluno construiu era realmente um mapa conceitual, apresentando as proposições existentes entre os conceitos em uma hierarquia coerente. Apesar dos alunos já

terem conhecimento de como construir um mapa conceitual, muitos mapas foram apresentados como esquemas, mesmo assim eles foram analisados, tendo como base o próprio esquema e a explicação do aluno.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ANÁLISE DOS DADOS

Para análise dos dados, optou-se pela Análise de Conteúdos de Bardin que, de acordo com a autora

[...] é um conjunto de instrumentos metodológicos cada vez mais sutis em constante aperfeiçoamento, que aplicam a “discursos” (conteúdos e continentes) extremamente diversificados. O fator comum dessas técnicas múltiplas e multiplicadas desde o cálculo de frequências que fornece dados cifrados, até a extração de estruturas traduzíveis em modelos. (BARDIN, 2016, p. 15).

A análise de conteúdo está em constante mudança/aperfeiçoamento e pode ser utilizada em diversas situações, que mediante a interpretação e inferência, vão auxiliar na busca de um entendimento heurístico do objeto de pesquisa/análise.

Para conseguir alcançar esse entendimento heurístico, é necessário que ocorra uma organização na análise. Dessa forma, é indispensável que certas fases sejam aplicadas durante o seu processo. Bardin (2016, p. 125) divide esse processo de análise em três fases cronológicas: 1) a pré-análise 2) a exploração do material; e 3) o tratamento dos resultados a inferência e a interpretação.

Bardin (2016, p. 215) define a pré-análise como uma

[...] fase de organização propriamente dita. Corresponde a um período de intuições, mas tem por objetivo tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais, de maneira a conduzir a um esquema preciso do desenvolvimento das operações sucessivas, num plano de análise.

Dessa forma, uma fase de organização, seleção de dados a serem analisados, levantamento de hipóteses e estruturação de indicadores que vão fundamentar a interpretação final dos dados, apesar de ser uma fase de organização, ela não apresenta uma estrutura definida, mas sim é “aberta”, porém algumas fases e regras se fazem necessárias (BARDIN, 2016):

- a) *Leitura flutuante*: trata-se de ter o primeiro contato com o texto. Em um primeiro momento a leitura é mais ampla, progressivamente a leitura irá se tornando mais objetiva, em função de hipóteses emergentes, materiais de semelhantes.

- b) *Escolha dos documentos*: esses documentos podem ser escolhidos *a priori*, formando, assim, um universo de documentos que serão analisados. Esse universo tem que ser escolhido seguindo algumas regras:
- (i) **Regra da exaustividade**: buscar sempre reunir o máximo de informação possível acerca do que vai ser analisado;
 - (ii) **Regra da Representatividade**: a análise pode ser realizada por meio de amostragem, porém essa amostra tem que ser representativa em relação ao objeto de análise. Dessa forma, os resultados da amostra podem ser generalizados.
 - (iii) **Regra da homogeneidade**: o universo de documentos deve apresentar certa homogeneidade, obedecendo a critérios de seleção, evitando, assim, possíveis singularidades.
 - (iv) **Regra da pertinência**: os documentos a serem analisados devem fornecer informações/dados que correspondam ao objetivo da análise.
- c) *Formulação de hipóteses e objetivos*: hipótese é uma alegação provisória intuitiva, que tentamos confirmar com instrumentos de análise. A hipótese nem sempre é proposta na pré-análise, podendo surgir em outro momento do processo de análise, e o objetivo é o propósito geral da análise/pesquisa.

Se a pré-análise foi realizada de maneira adequada, a fase da exploração nada mais é do que a sistematização das decisões tomadas na pré-análise, “esta fase, é longa e fastidiosa, consiste essencialmente em operações de codificação, decomposição ou enumeração em função de regras previamente formuladas” (BARDIN, 2016 p. 131).

A última fase, que é o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação, trata-se de como

Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos (“falantes”) e válidos. Operações estatísticas simples (percentagem), ou mais complexas (análise fatorial), permitem estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põem em relevo as informações fornecidas pela a análise. (BARDIN, 2016, p. 131).

Nesse contexto, é relevante dispor do entendimento do que seja categorização e categorias como

uma operação de classificação dos elementos constitutivos de um conjunto por diferenciação e, em seguida, por reagrupamento seguindo o gênero (analogia com os critérios previamente definidos. As categorias são rubricas ou classes, as quais reúnem um grupo de elementos (unidades de registro, no caso da análise de conteúdo) sob

um título genérico, agrupamento esse efetuado em razão das características comuns destes elementos (BARDIN,2016, p. 147).

A categorização nos auxilia na interpretação dos resultados obtidos, na qual reúnem-se os dados da análise de acordo com suas semelhanças e diferenças, mediante categorias previamente definidas, porém algumas categorias podem ser emergentes, ou seja, surgirem no decorrer da análise (BARDIN, 2016).

Com os dados coletados e analisados, seguimos para a elaboração das categorias e subcategorias embasadas em Bardin (2016). Para nomear as categorias e subcategorias, foram definidas unidades de contexto e unidades de registro. Consideramos como unidades de contexto os segmentos da mensagem utilizados para identificar os termos que foram definidos como unidades de registro, que corresponde a um seguimento para compreender a significação dessa unidade (BARDIN, 2016).

3.3.1 Procedimentos metodológicos para a elaboração das unidades temáticas de contexto e unidades de registro

As unidades de contexto e unidades de registro foram propostas com base na contextualização da História e Epistemologia da Ciência apresentadas em sala de aula para o conhecimento do conceito Átomo, visando à aprendizagem significativa nos alunos.

Com uma análise de cunho basicamente qualitativo, procurou-se compreender e interpretar todas as informações obtidas, respaldando-se em Bardin (2016). Previamente duas unidades de contexto foram construídas juntamente com suas unidades de registro. Ressalta-se que na análise , emergiu uma unidade de contexto (UCE 3)

Quadro 2 – Quadro geral das unidades temáticas

UNIDADE DE CONTEXTO	UNIDADE DE REGISTRO
UC1- COMPREENSÃO DO CONCEITO DO ÁTOMO	UR1.1 – DEFINIÇÃO DE ÁTOMO
	UR1.2 – CONCEITOS SUBSUNÇORES RELATIVOS AO ÁTOMO
UC2- ENTENDIMENTO ESTRUTURAL DO ÁTOMO	UR2.1 – ESTRUTURA DO ÁTOMO
	UR2.2 – DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA DO CONCEITO DO ÁTOMO
	UR2.3 – RECONCILIAÇÃO INTEGRATIVA DO CONCEITO ÁTOMO
UCE 3- CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS	URE 3.1 – CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS REFERENTES AO CONCEITO ÁTOMO.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados aqui analisados retratam as noções de oito alunos do Ensino Médio a respeito do conceito Átomo. Embora a sala de aula investigada apresentasse quinze alunos, somente oito contemplaram todas as atividades da sequência didática proposta, como já explicado.

A análise foi realizada diante das atividades propostas na sequência didática como: os mapas conceituais e suas respectivas explicações; atividades de comparação entre os filósofos naturalistas e atomistas (Atividade I); cartas redigidas pelos alunos e desenhos solicitados para representar o Átomo. Esses desenhos serviram como auxiliares para análise de M1 e M2.

Apesar dos alunos já trabalharem com mapas conceituais, foi observado que alguns mapas não são considerados mapas conceituais e sim esquemas, mesmo assim foram analisados (M1 e M2).

Nesse contexto, os dados coletados mediante as atividades apresentadas serão analisados nas unidades temáticas de contexto e unidades de registro a seguir.

4.1 ANÁLISE CATEGORIAL DAS UNIDADES

4.1.1 UC1 – Compreensão do conceito do átomo

Reúne as informações dos alunos, identificando sua noção quanto ao conceito Átomo. Essa unidade de contexto apresenta duas unidades de registro (UR1.1 e UR1.2).

4.1.1.1 UR1.1 – Definição de átomo

A compreensão que os alunos apresentaram, em um primeiro momento, foi um conceito de Átomo que não é aceito pela comunidade científica, ou seja, uma concepção alternativa que relacionou o conceito Átomo com células biológicas, cuja análise da estrutura está apresentada em uma Unidade de Registro Emergente (URE 3.1) da terceira unidade de contexto, para o qual foi proposto uma Unidade de Registro Emergente (URE 3.1), analisada separadamente. No decorrer da aplicação da sequência didática, houve um desenvolvimento na compreensão deste conceito.

Considerando a História e a Epistemologia da Ciência, os alunos apresentaram os diversos conceitos de Átomo, partindo das ideias que relacionavam o Átomo como uma

partícula indivisível, nas quais se destacaram os filósofos atomistas, teoria atômica de Dalton e a presença de partículas subatômicas presentes nas teorias de Thomson, Rutherford e Bohr.

Observamos que os alunos apresentaram o conceito de Átomo de acordo com seu desenvolvimento Histórico-Epistemológico, não apresentando um conceito único para o Átomo, trazendo possíveis evidências que os alunos aprimoraram o conhecimento. Isso mostra que a Ciência está em constante mudança. Com o auxílio do desenvolvimento tecnológico, possibilita novos estudos, viabilizando propostas de novas teorias.

Tal análise pode ser realizada, observando os trechos a seguir, oriundos das cartas escritas e da Atividade I:

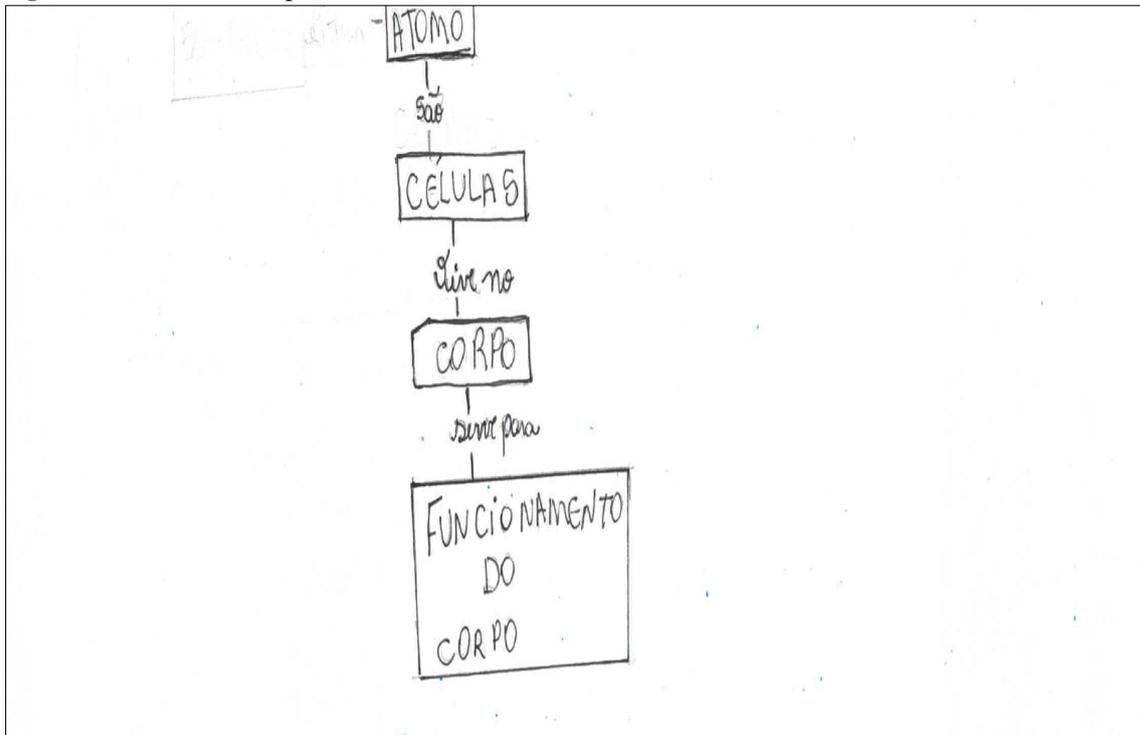
“Demócrito, Leucipo, acreditavam que toda a matéria era formada por partículas indivisíveis [...] que foi denominada átomo” (Atividade I – A1).

“Todas as substâncias são constituídas de pequenas partículas indivisíveis chamadas de átomos” (Carta do Grupo I).

“Descobrimos que o primeiro modelo atômico a indicar a divisibilidade do átomo, de acordo com ele o átomo era formado por elétrons” (Carta do Grupo II).

Tal realidade pode ser observada no Mapa Conceitual M2 (Figura 6), apresentado pelo aluno A2, no qual ele não apresenta um único conceito do Átomo, mas sim os conceitos de Átomo propostos no decorrer da história, de acordo com cada pesquisador que propôs tais conceitos.

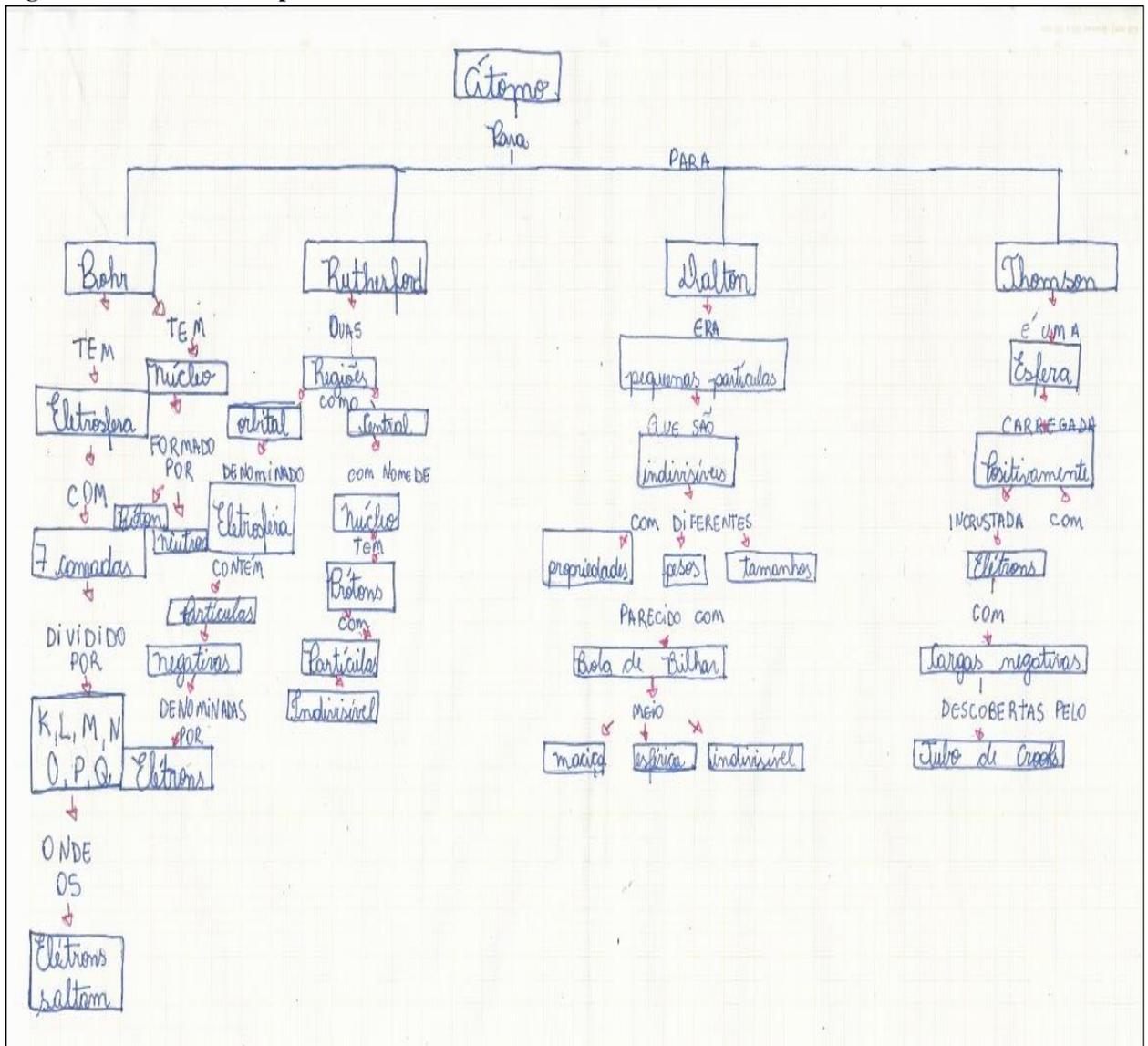
Figura 7 - M1 construído pelo A2.



Fonte: Aluno A2.

Nos mapas M2 (Figura 6 e Figura 8), os alunos não se prendem em uma definição única, para o conceito Átomo, mas sim apresentam vários subsunçores quando comparado ao M1. No M2, os alunos apresentam um desenvolvimento Histórico do conceito trazendo indícios de uma aprendizagem significativa.

Figura 8 - M2 construído pelo A5



Fonte: A5.

Essa realidade traz indícios de que os organizadores prévios utilizados durante a aplicação das atividades favoreceram a aprendizagem dos alunos, fornecendo os subsunçores necessários para ancorar os novos conceitos aprendidos.

4.1.2 UC2 – Entendimento estrutural do átomo

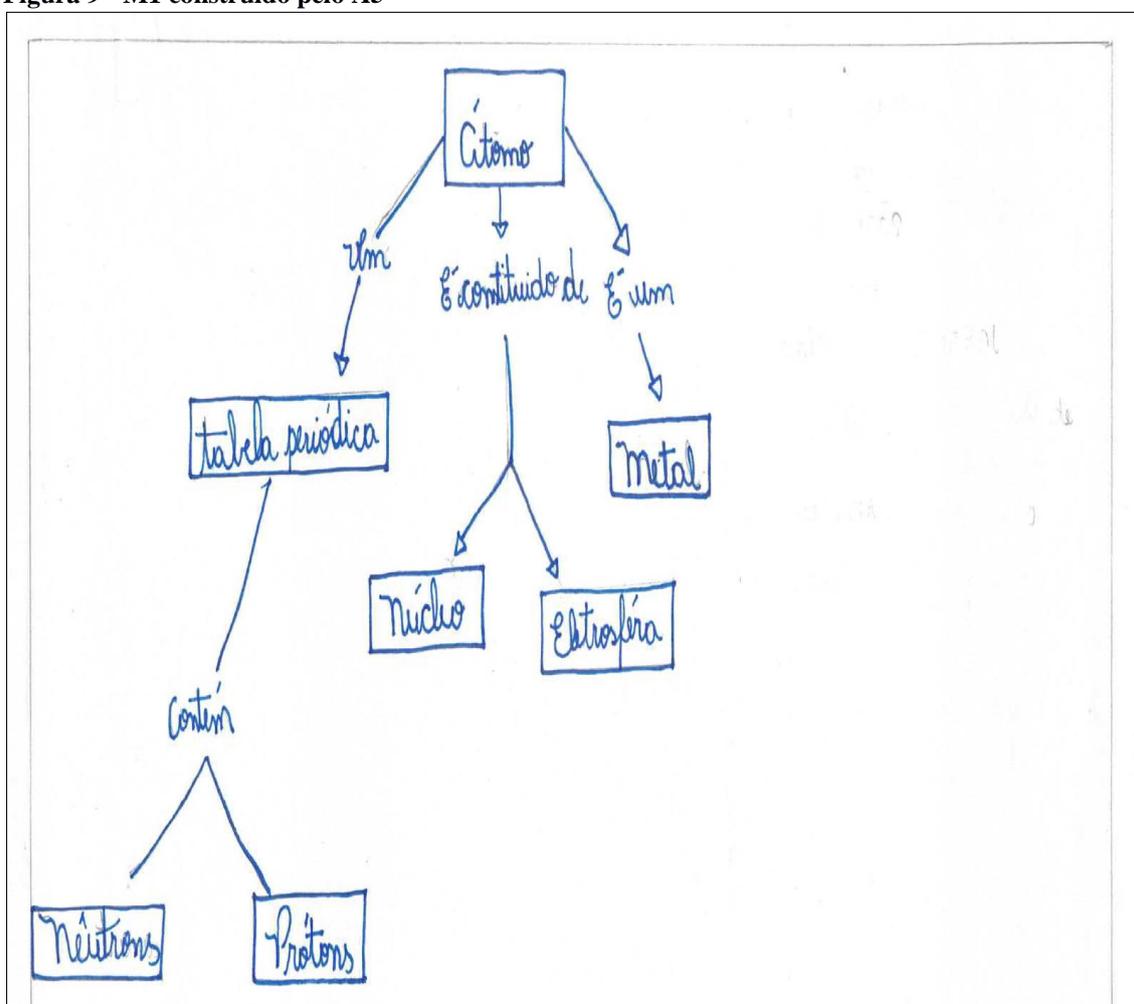
Reúne as informações dos alunos nas atividades apresentadas que indicam a noção deles quanto à estrutura do Átomo. Essa unidade de contexto apresenta três unidades de registro (UR2.1, UR2.2 e UR2.3).

4.1.2.1 UR 2.1 – Estrutura do átomo

Referente à Unidade de contexto da estrutura do átomo, no qual sete (87%) alunos inicialmente apresentaram concepções alternativas em relação ao conceito Átomo, emergiu uma outra unidade. Por este motivo as análises de tais concepções serão apresentadas posteriormente na URE 1 (Unidade de Registro Emergente 1).

Neste momento, serão analisadas as concepções mais próximas do adequado do conceito Átomo, em que, de início, somente o aluno A5 chegou a uma conclusão parcialmente adequada, o que é possível observar no M1, na Figura 9.

Figura 9 - M1 construído pelo A5

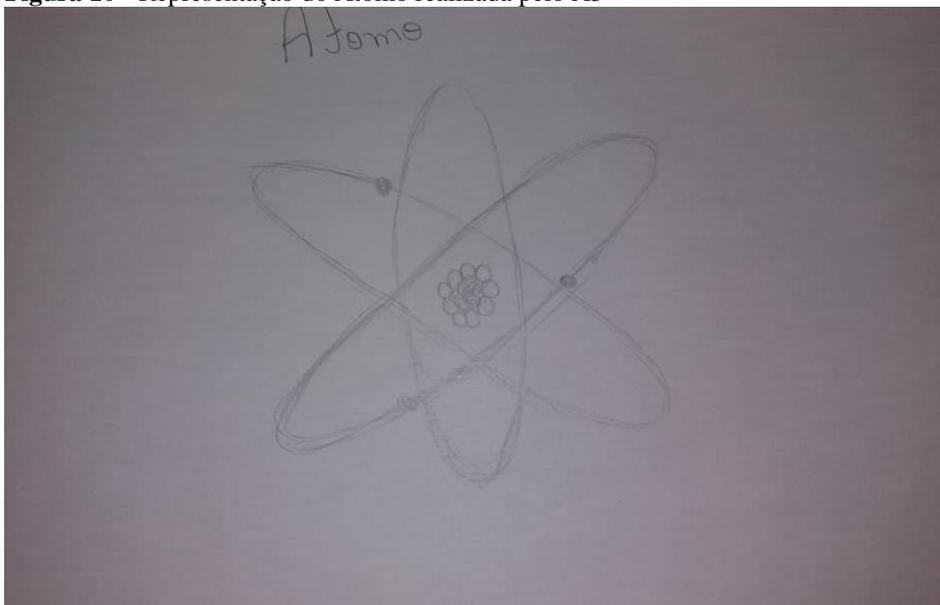


Fonte: A5.

Percebe-se que o aluno A5, em M1, relaciona o conceito Átomo com as estruturas: núcleo e eletrosfera, o que vai ao encontro com das teorias propostas por Rutherford e Bohr. Além disso, ao citar as partículas subatômicas, nêutrons e prótons, também se aproxima de

ambas as teorias. Tal consideração pode ser confirmada quando analisada a representação do Átomo solicitada aos alunos, após a elaboração de M1. Na Figura 10, o aluno A5 representa o Átomo semelhante ao modelo atômico de Rutherford.

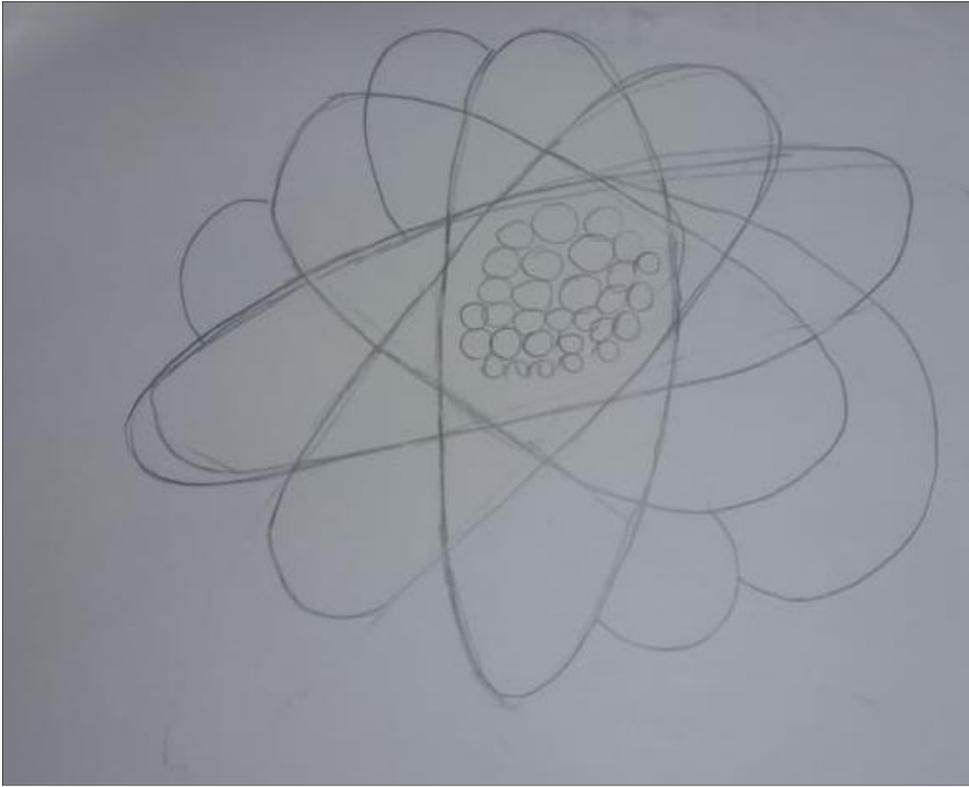
Figura 10 - Representação do Átomo realizada pelo A5



Fonte: A5.

Apesar de na construção de M1, como já citado, sete alunos (87%) apresentaram uma concepção alternativa referente ao conceito Átomo, os alunos A1, A4 e A5 fizeram uma representação (em forma de desenho) do Átomo de Rutherford, o que pode ser observado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Representação do Átomo realizada pelo aluno A1.



Fonte: A1.

Figura 12 - Representação do Átomo apresentada pelo A4.

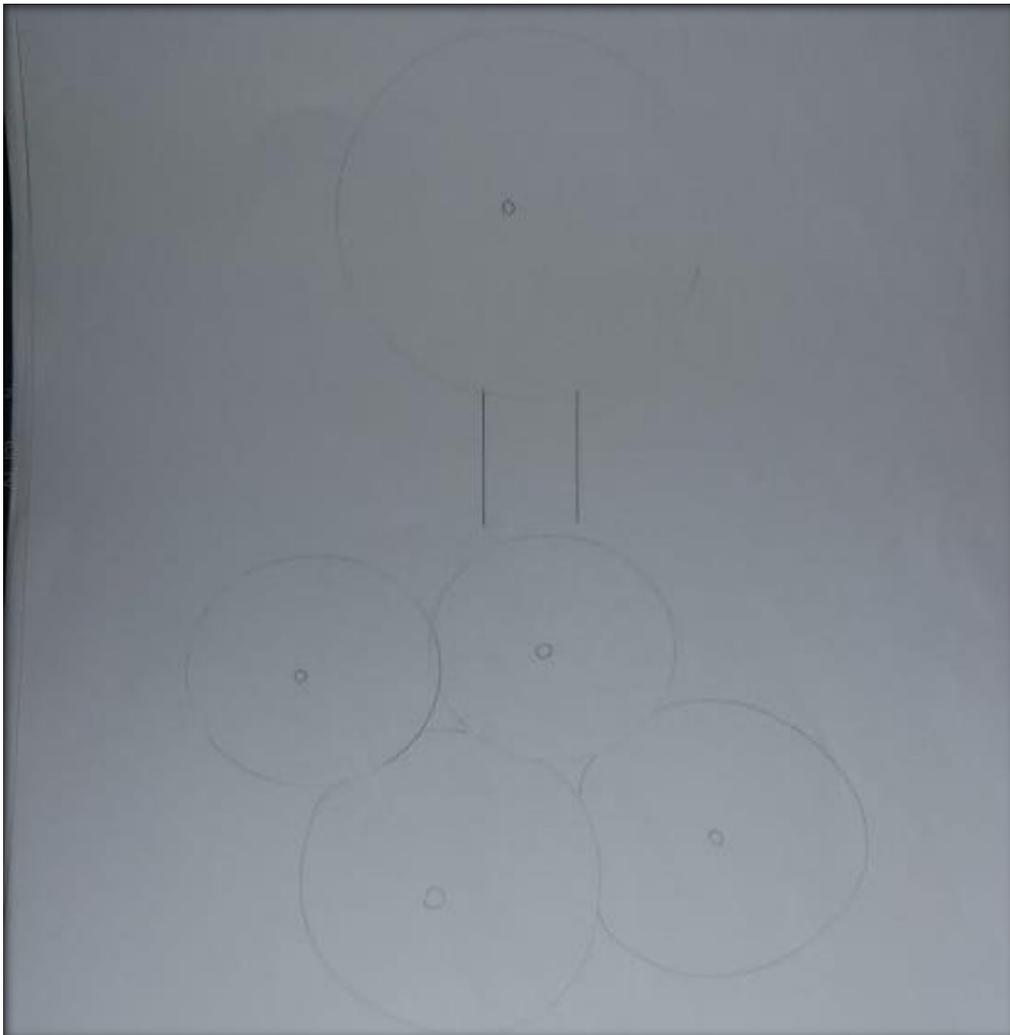


Fonte: A4.

Foi possível observar que o A4 representou o Átomo de Rutherford com o erro da teoria do cientista, no qual pela mecânica clássica os elétrons seriam atraídos pelo núcleo positivo, e se aniquilaria.

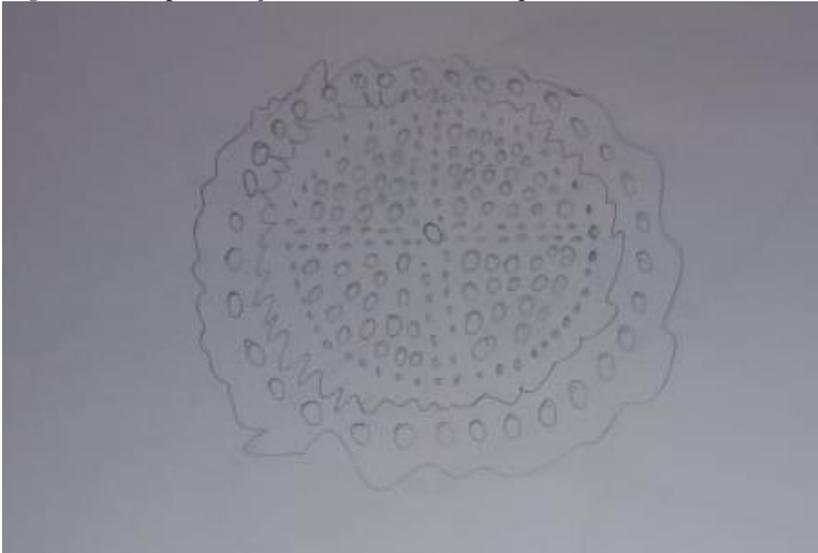
Os alunos restantes representaram o átomo como esferas, com um núcleo central (Figura 13) ou um conjunto de esferas (Figura 14). Quando relacionamos a Figura 9 com o Átomo, e analisamos o M1 de tal aluno podemos ver que o mesmo relaciona com células (Figura 7), situação bem comum dos alunos do Ensino Médio em relação ao conceito Átomo (ALTARUGIO, SANTOS, 2010; SILVA, 2013; VASCONCELLOS, RODRIGUES, GOMES, 2016;). Realidade essa que será analisada em URE 2.1, que trata das concepções alternativas dos alunos.

Figura 13 - Representação do Átomo realizado pelo A2.



Fonte: A2.

Figura 14 - Representação do Átomo realizado pelo A8.



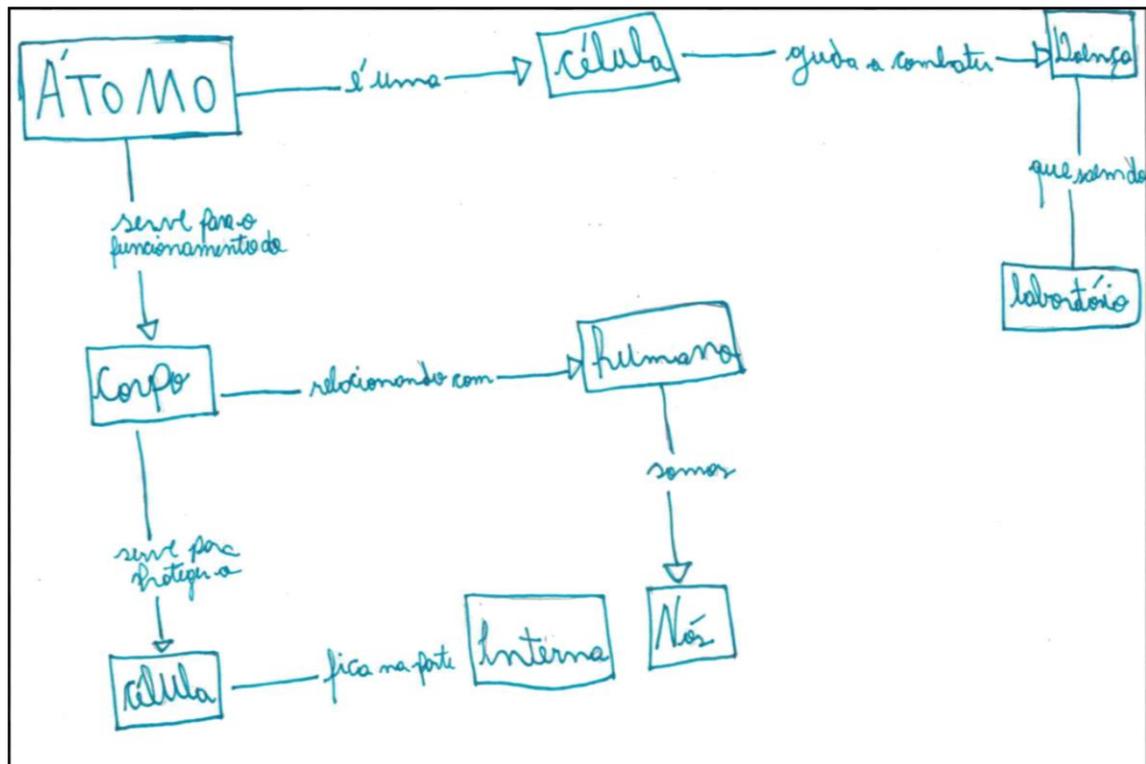
Fonte: A8.

No entanto, os alunos relacionaram o átomo com células biológicas em que o Aluno A8 no verso da sua representação do Átomo, escreveu a seguinte relação:

“Átomo ou Célula” (A8)

Isso nos dá indícios de que em seu entendimento ambos os conceitos são sinônimos, de igual modo foi observado à mesma situação ao analisar o M1 (Figura 15) do Aluno A6.

Figura 15 - M1 construído pelo A6.



Fonte: A6.

No decorrer da aplicação da sequência didática, foi possível observar uma ampliação do conhecimento em relação à estrutura do Átomo, quando apresentando a estrutura referente a cada teoria atômica.

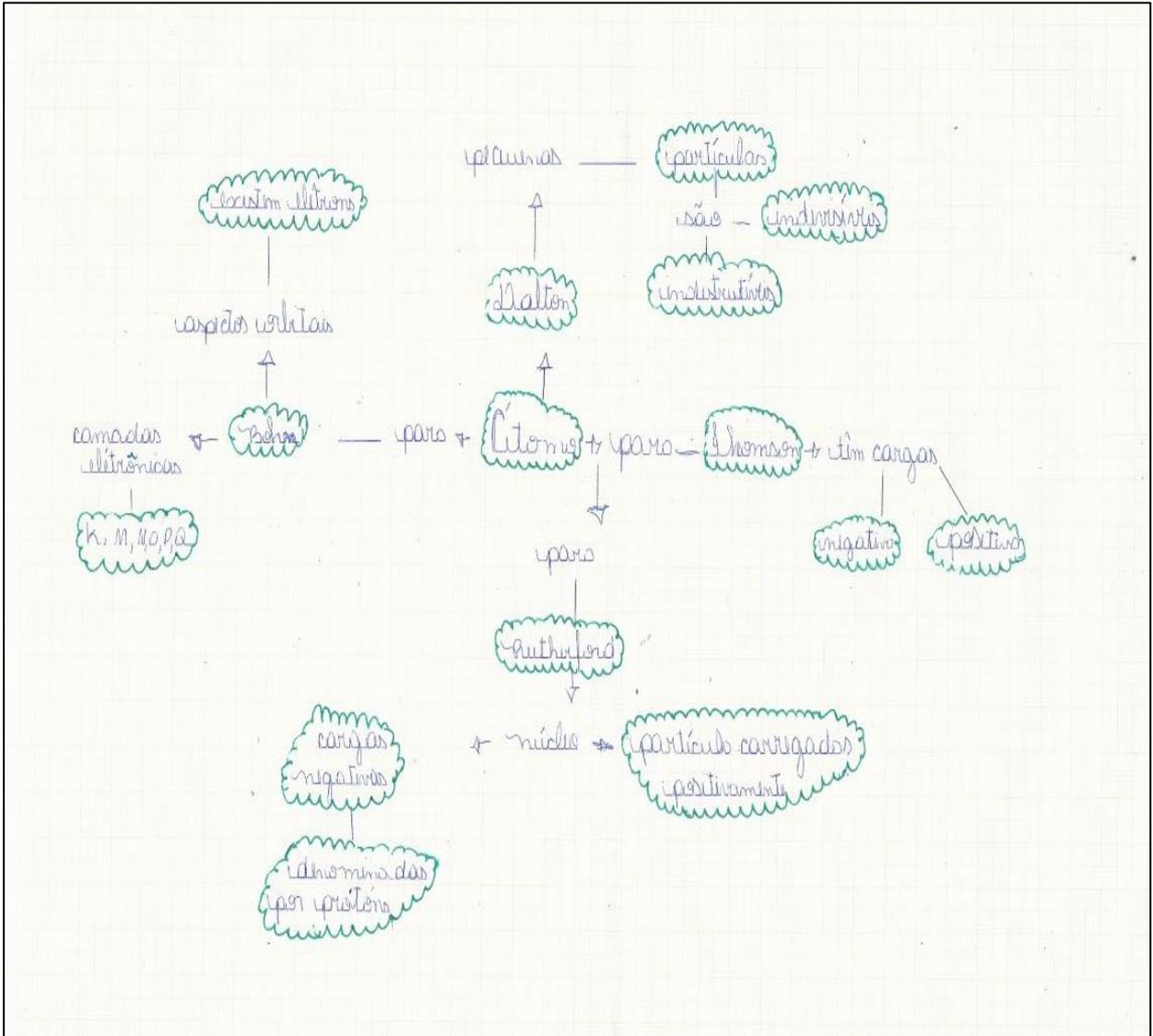
“Dalton propôs resumidamente que o átomo seria parecido com uma Bola de Bilhar, isto é, esférica, maciça e indivisível” (Carta do Grupo I).

“[...] átomo era formado por elétrons (carga negativa), presos a uma esfera onde havia carga elétrica positiva” (Carta do Grupo II).

“No modelo de Bohr, é muito importante à quantização da energia atômica em que cada elétron apresenta uma quantidade específica de energia, os elétrons cada um em sua orbita, as quais são chamadas de estados estacionários [...] Os níveis de energia, ou camadas eletrônicas, tem um número determinado e são designados pelas letras: K, L, M, N, O, P, Q” (Carta do Grupo IV).

Tal ampliação também é vista no mapa M2 (Figura 16), no qual o aluno A4 apresenta a estrutura em seu desenvolvimento histórico, de acordo com a teoria atômica proposta pelos cientistas e que foi trabalhada na sequência didática.

Figura 16 - M2 construído pelo A4.



Fonte: A4.

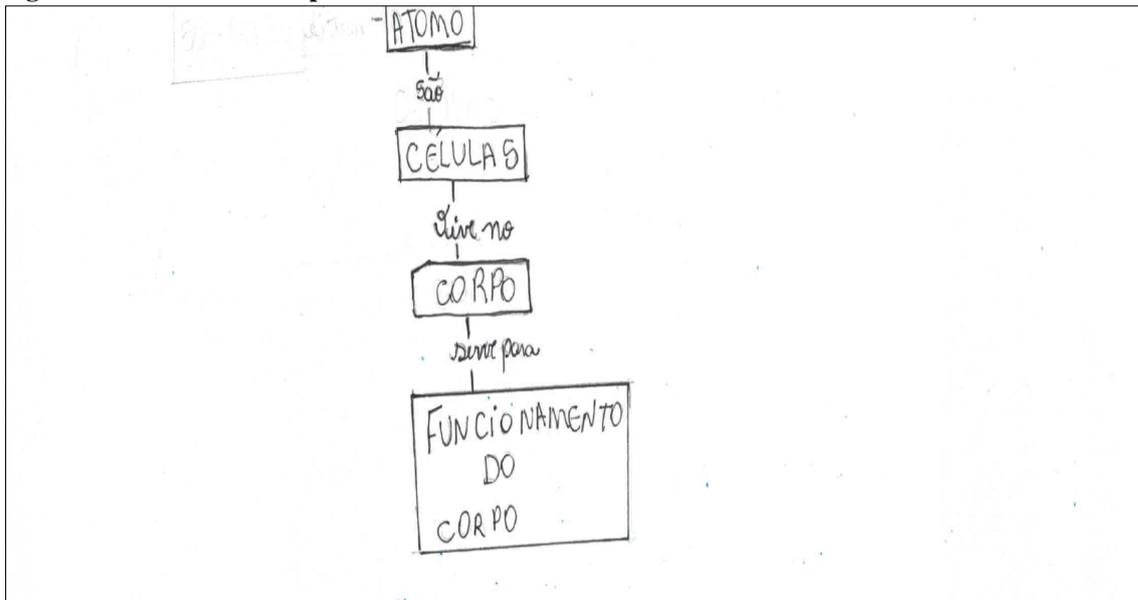
Nessa Unidade de Registro, os alunos tiveram uma ampliação do conceito estrutural do Átomo, partindo de um conceito simples e não adequado, alcançando o conhecimento da estrutura do Átomo de acordo com o desenvolvimento Histórico-epistemológico adequado, ou seja, a concepção aceita pela comunidade científica.

4.1.2.2 UR2.2 - Diferenciação progressiva do conceito do átomo nos mapas conceituais

Para a *Diferenciação Progressiva*, foi analisada a hierarquia em que o aluno apresentou os conceitos construídos durante o processo de aplicação do produto, e tem lógica em seus níveis.

Os alunos partiram do conceito Átomo como o mais abrangente tanto em M1 e M2. A partir desse conceito, no mapa M1, os alunos apresentaram uma hierarquia de níveis, partindo do conceito Átomo, porém o relacionado com células biológicas (Figura 17) e o corpo humano.

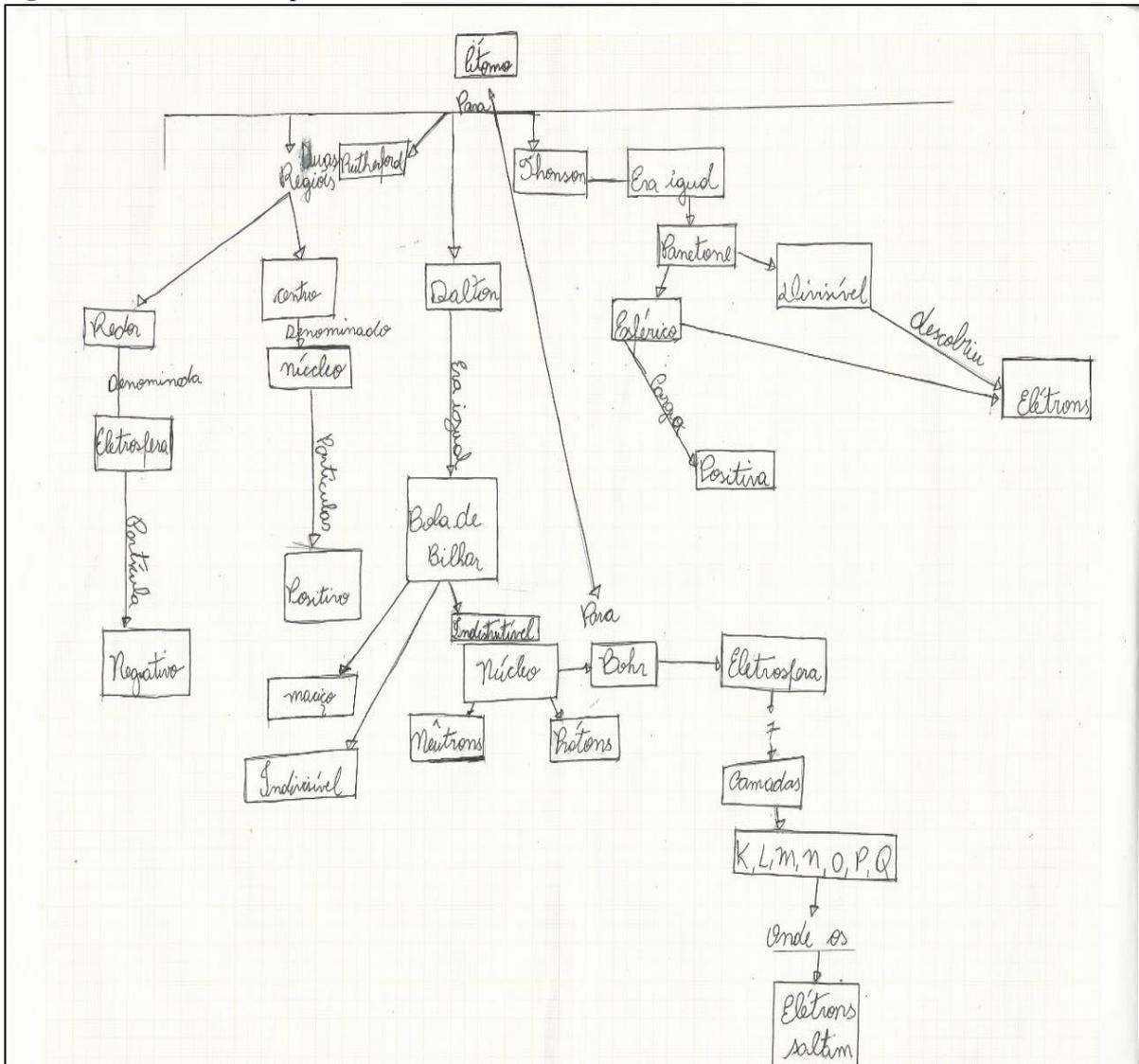
Figura 17 - M1 construído pelo A2.



Fonte: A2.

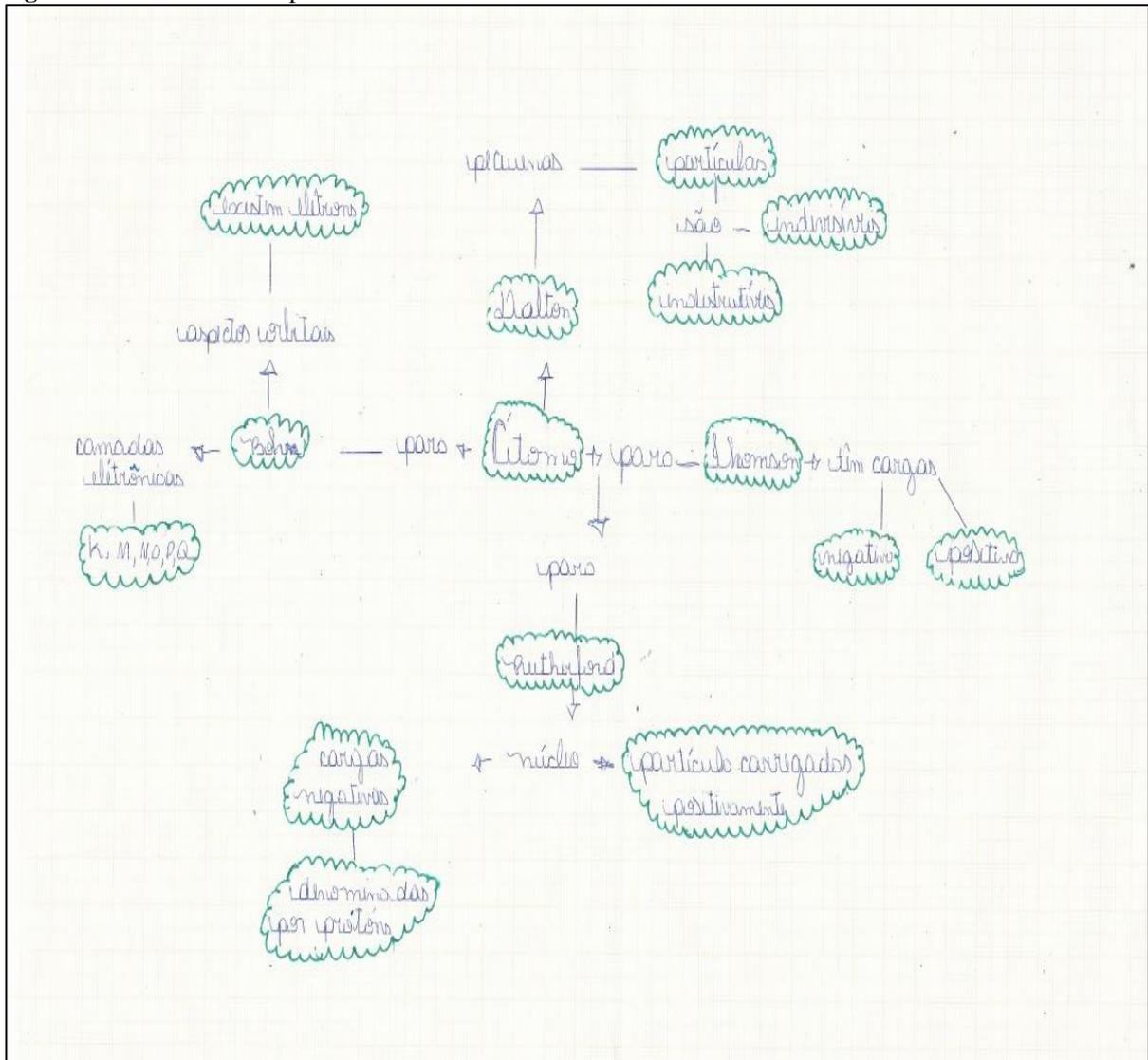
Já em M2, os alunos apresentam os cientistas, com suas respectivas teorias, de maneira hierárquica, em que os mapas apresentam de 3 a 5 níveis de hierarquia, no quais os alunos construíram de duas maneiras os mapas conceituais: seis alunos (75%) apresentaram o conceito Átomo no topo (Figura 18), e hierarquicamente apresentando os outros conceitos, e os outros dois apresentaram o conceito Átomo está como um conceito central, e os conceitos restantes partindo para as extremidades do papel de maneira hierárquica (Figura 19):

Figura 18 - M2 Construído pelo A7.



Fonte: A7.

Figura 19 - M2 Construído pelo A4.



Fonte: A4

Constatou-se que os alunos apresentaram uma hierarquia coerente no M2, em que a apresentação do desenvolvimento do conceito Átomo com o destaque nos cientistas é natural, pelo objetivo da sequência didática.

4.1.2.3 UR2.3 – Reconciliação integrativa do conceito átomo

Quanto à *Reconciliação Integrativa* analisou-se as relações em que os alunos fizeram entre os conceitos com as diferenças e semelhanças existentes entre os conceitos apresentados por eles, nos mapas conceituais.

Apesar de terem sido trabalhadas as diferenças e semelhanças entre os cientistas em sala de aula, os alunos não conseguiram relacionar em seus mapas essas semelhanças e diferenças.

No entanto, na atividade das cartas essas diferenciações são relatadas, como pode ser observado nos exemplos de trechos da atividade:

“Ele disse que, porém, o modelo atômico de Dalton não explicava esse fato como a matéria neutra poderia ficar elétrica” (Carta do Grupo II).

“Rutherford afirmou com seu experimento, que o átomo não era apenas uma esfera maciça de carga elétrica positiva incrustada de elétrons como dizia J.J. Thomson” (Carta do Grupo III).

“O átomo de Bohr também é chamado de modelo atômico de Rutherford-Bohr. Bohr nos que ele aperfeiçoou o modelo de Rutherford” (Carta do Grupo IV).

Os alunos não apresentaram tais semelhanças ou diferenças em seus mapas conceituais, o que resultou na ausência de reconciliações integrativas em seus mapas, apesar de eles citarem na atividade das cartas.

4.1.3 – UCE 3- Concepções Alternativas

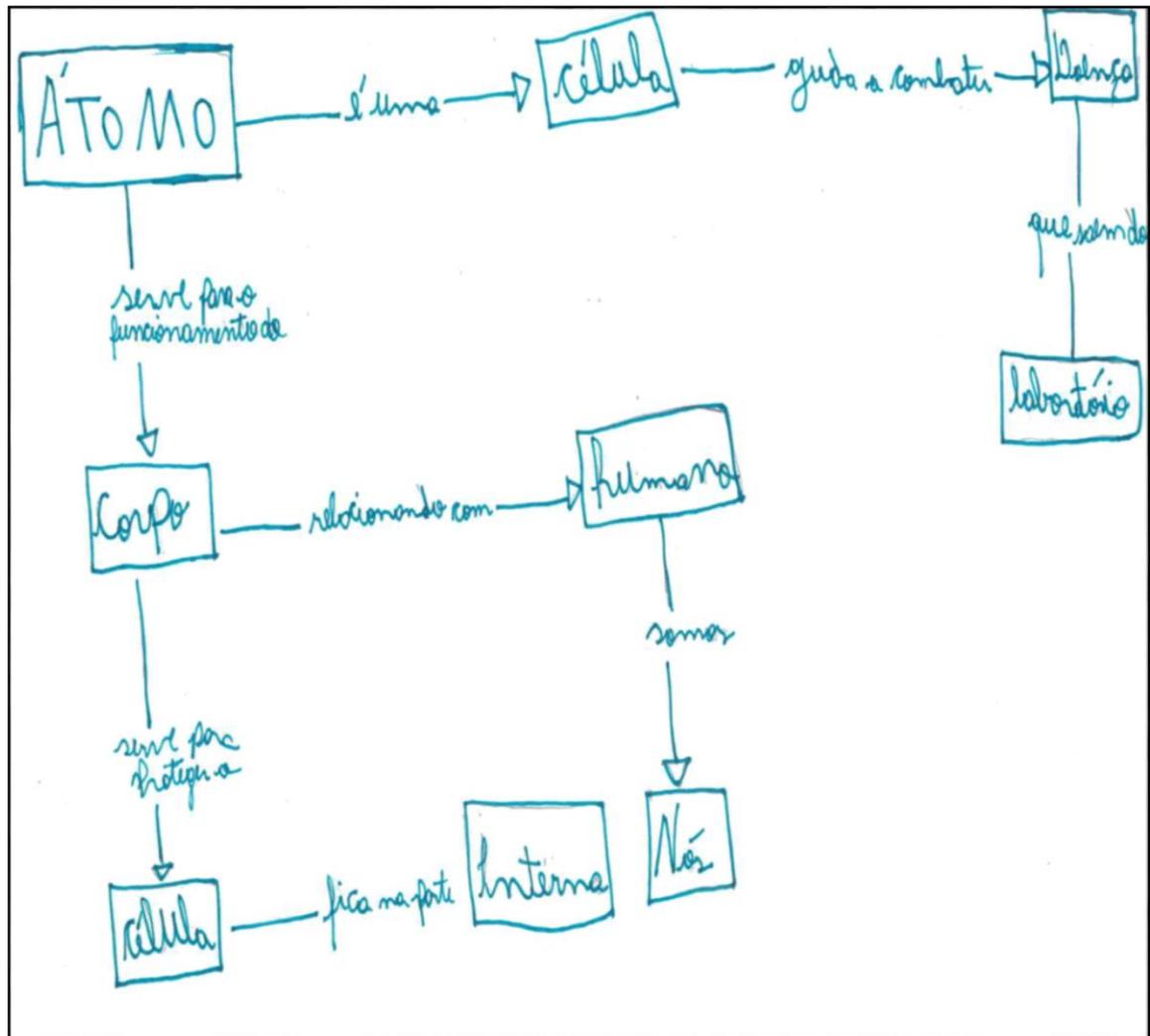
Reúne as informações dos alunos nas atividades apresentadas que indicam as concepções alternativas dos alunos. Essa unidade de contexto apresenta apenas uma unidade de registro (URE 3.1)

4.1.3.1 - URE3.1 – Concepções alternativas dos alunos em relação à estrutura do átomo

Reúne termos que indicam indícios de relações confusas, ou seja, conceitos da estrutura do Átomo não aceitas pela comunidade científica. Esta unidade de registro emergente traz um fator inesperado que foi a concepção alternativa. Seis (75%) dos alunos relacionaram o Átomo com Células Biológicas, o que já foi observado nas análises anteriores.

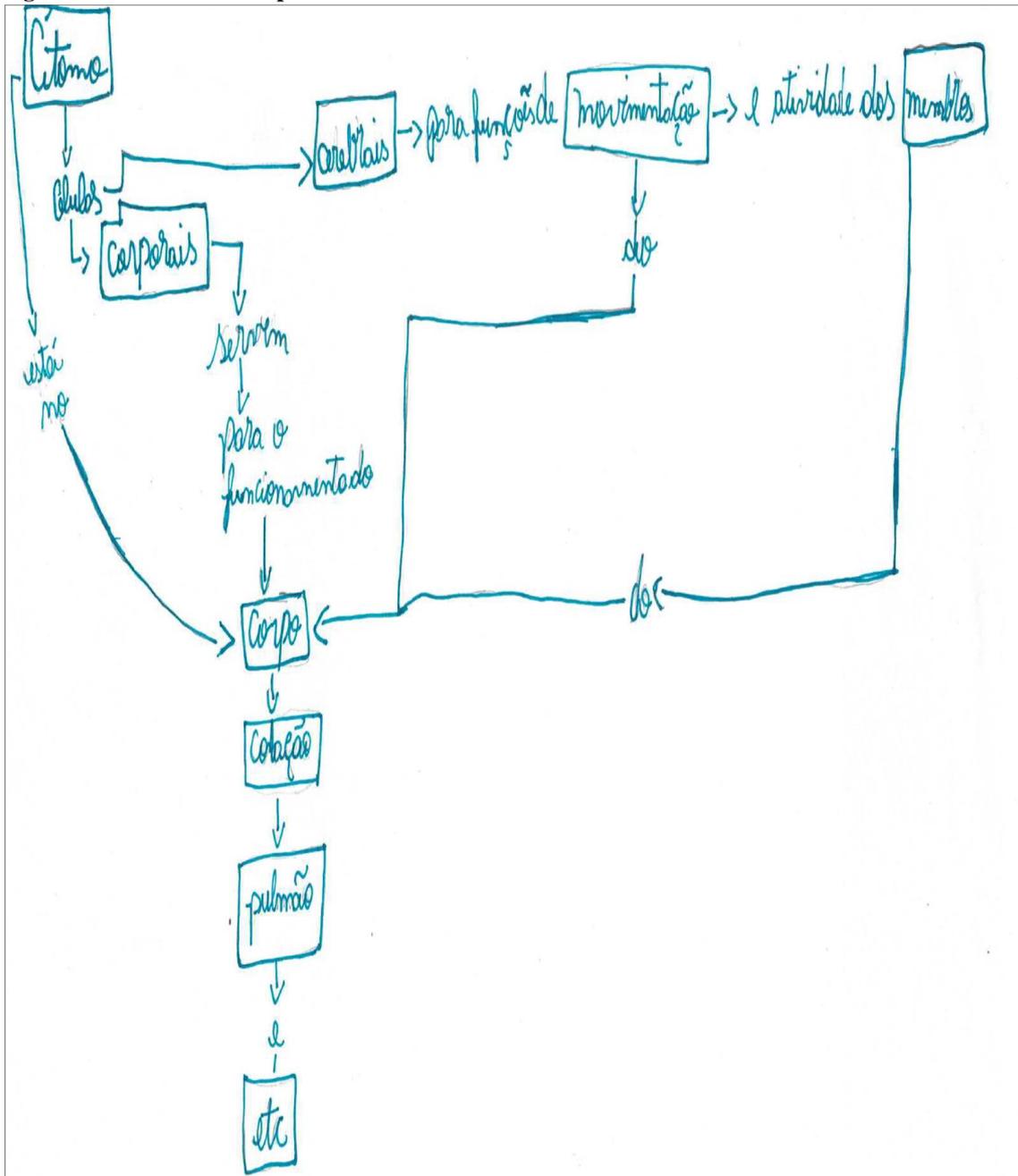
Para exemplificar essa unidade, os mapas conceituais M1 dos alunos A6 e A8 (Figuras 20 e 21).

Figura 20 - M1 construído pelo A6.



Fonte: A6.

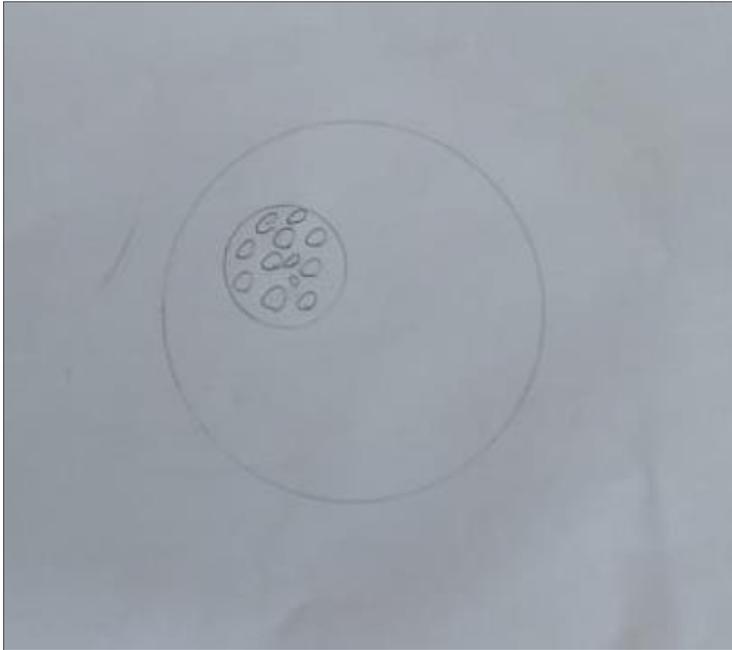
Figura 21 - M1 construído pelo A8.



Fonte: A8.

Outra atividade que pode constatar tal concepção alternativa foi a representação do Átomo realizada pelo aluno A7, que o desenhou comparado a uma célula, conforme Figura 22. O mesmo pode ser observado na Figura 14, o desenho do aluno A8.

Figura 22 - Representação do Átomo realizada pelo A7.



Fonte: A7.

Resultado esse que corrobora com outros trabalhos, no qual se depararam com concepções alternativas semelhantes dos alunos do Ensino Médio para o conceito Átomo (ALTARUGIO, SANTOS, 2010; SILVA, 2013; VASCONCELLOS, RODRIGUES, GOMES, 2016), os autores levantam algumas hipóteses para essa realidade:

Devido a possíveis erros nos próprios livros didáticos, que procuram uma linguagem mais coloquial, e muitas vezes se perdem nos conceitos mal formulados, ou em exemplos mal dados, além disso, a grande influência do ensino da Biologia no Ensino Fundamental, pode estar causando boa parte da confusão entre os conceitos de átomo e célula. (VASCONCELLOS, RODRIGUES, GOMES, 2016, p. 5).

Observamos que tal concepção alternativa não é exclusiva dos participantes desta pesquisa, é comum em alunos oriundos do Ensino Fundamental encontrar o conceito Átomo dessa maneira. Isso nos dá indícios que normalmente o professor de Ciências é graduado em Biologia o que acaba influenciando em tal concepção alternativa, apresentada pela maioria dos alunos.

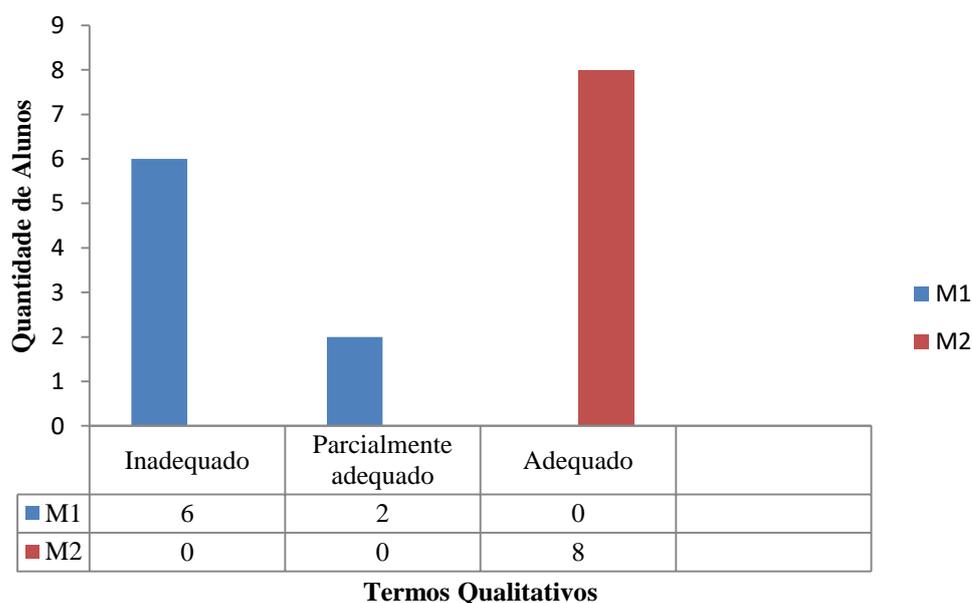
4.2 SÍNTESE DA ANÁLISE DE DADOS

Para melhor entendimento, fizemos uma análise nas unidades de registro usando os termos: inadequados, parcialmente adequados e adequados, para as concepções dos alunos, referentes ao conceito Átomo e sua estrutura.

São consideradas como *Inadequado* as repostas dos alunos que não estão de acordo com a comunidade científica; *Parcialmente adequado* trata-se das noções dos alunos que têm certa relação do conceito Átomo e de sua estrutura adequada, porém não é exatamente a definição que a comunidade científica aceita como adequada; *Adequado* quando a resposta do aluno vai ao encontro do que a comunidade científica aceita como a definição de Átomo e estrutura adequada.

Aqui analisaremos principalmente M1 e M2, tendo como apoio as outras atividades. Além de fazer uma comparação, mostramos a ampliação do conhecimento dos alunos. Considerando que a atividade que auxiliou a análise de M1 foi a representação do átomo realizada pelos alunos, e a atividade que auxiliou na análise M2 foi a carta.

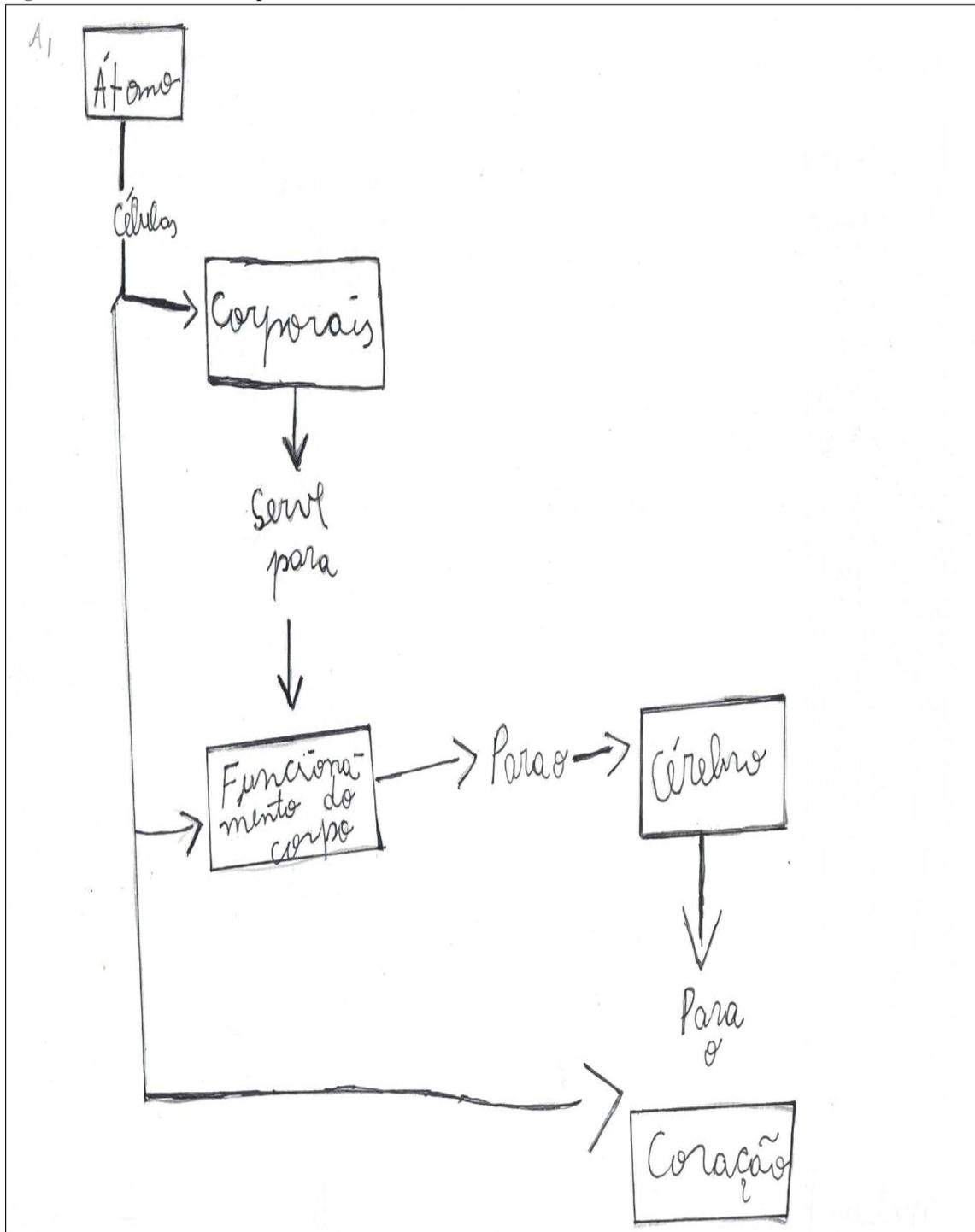
Gráfico 1 – Histograma da análise qualitativa referente a adequação de M1 e M2



Fonte: Os Autores.

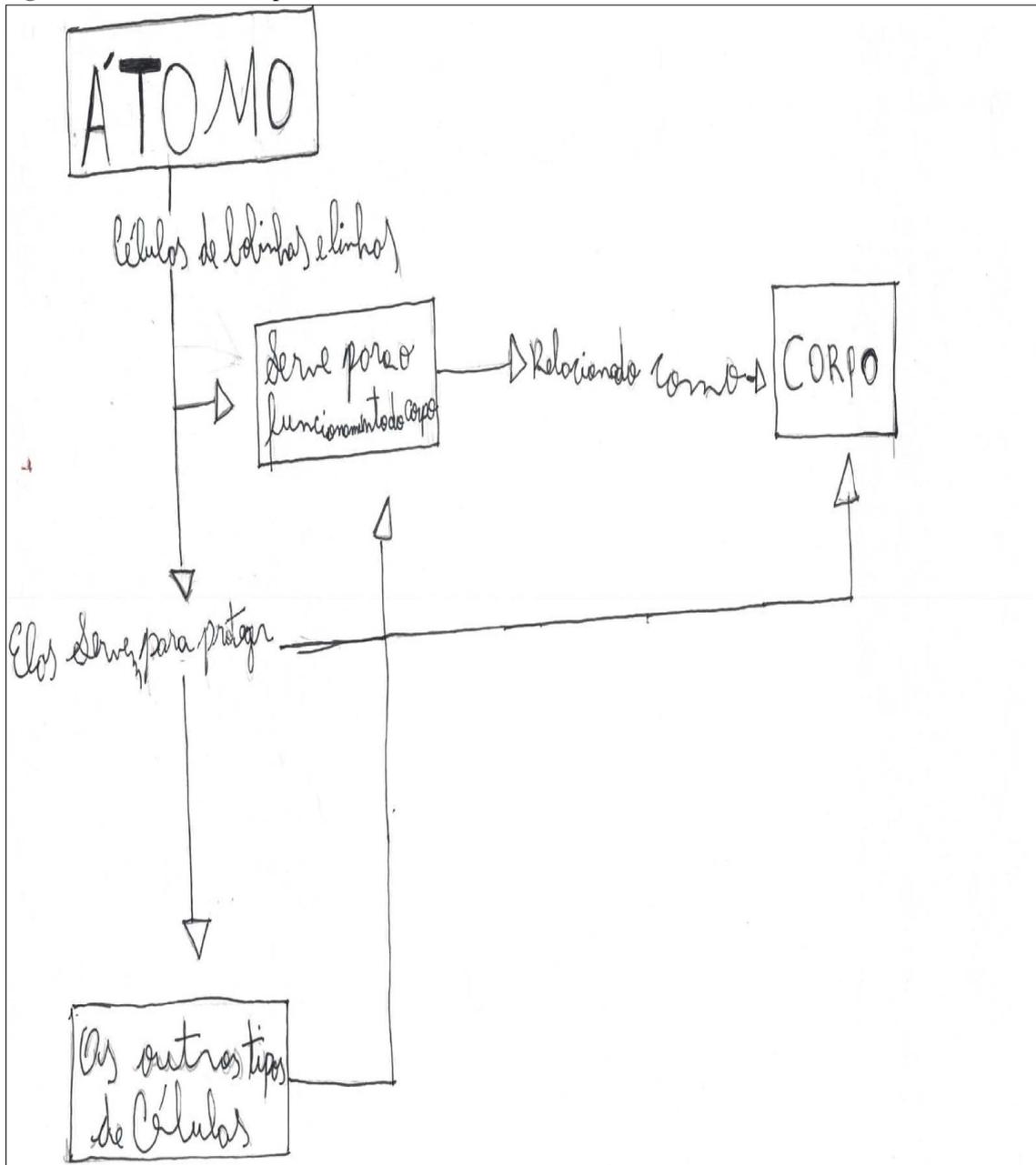
Pode-se observar que, inicialmente, as concepções de seis alunos (75%) em relação ao conceito Átomo são *inadequadas*, exemplos dessas inadequações podem ser observadas nas Figuras 23 e 24; como já analisado, os alunos fazem a relação do átomo com células biológicas.

Figura 23 - M1 construído pelo A1.



Fonte: A1.

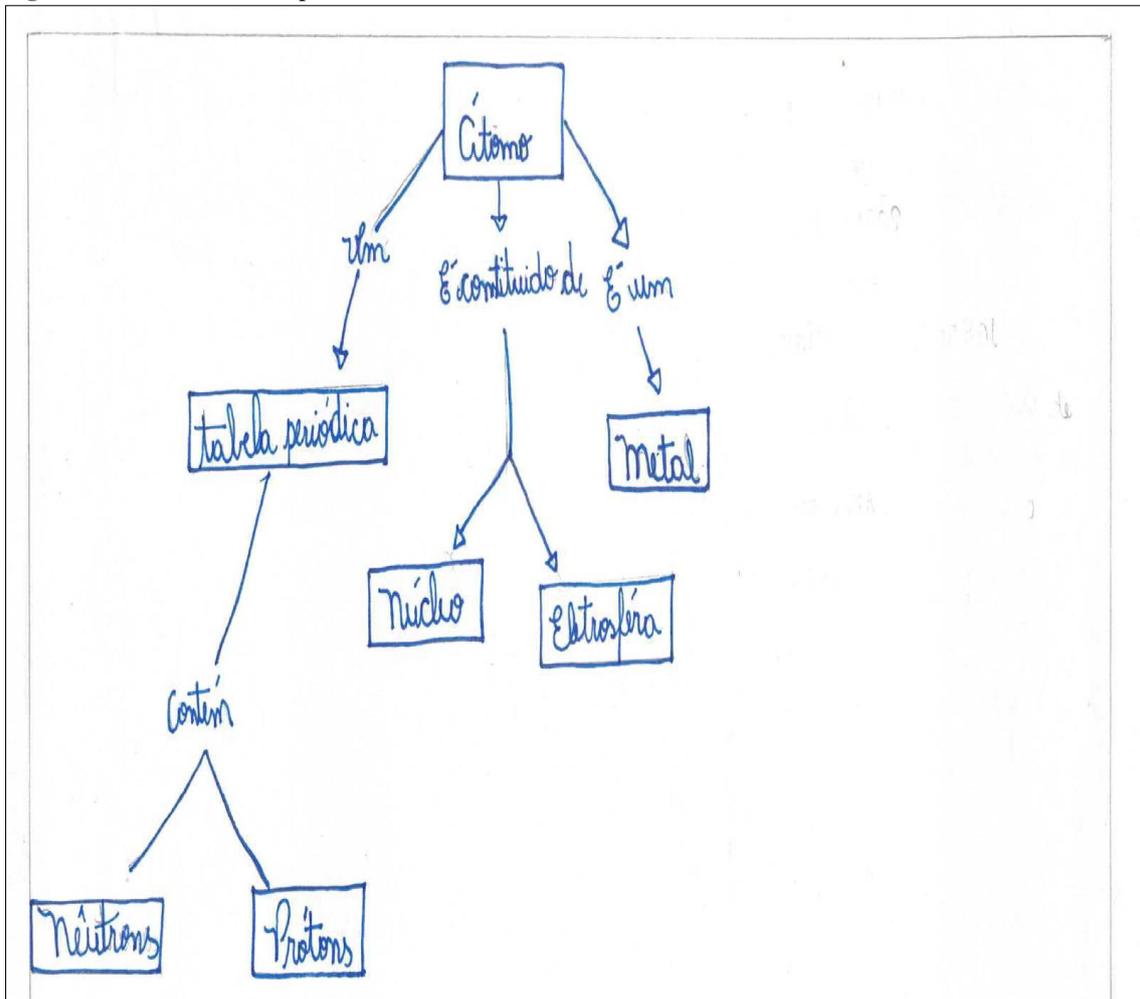
Figura 24 - M1 construído pelo A3.



Fonte: A3.

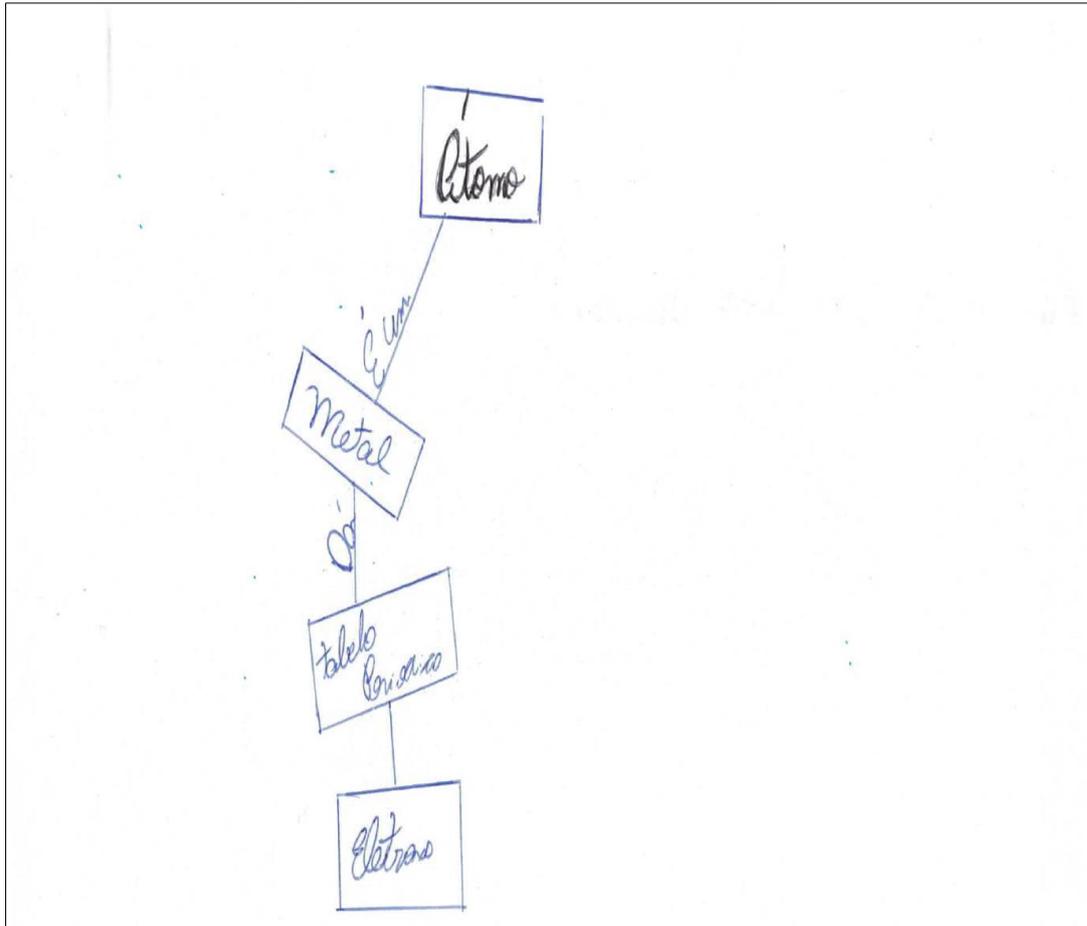
Já nas concepções *parcialmente adequadas*, dois alunos (25%) relacionaram o Átomo com a tabela periódica, definindo-o como um metal, o que traz indícios de que eles se recordaram da relação existente entre os átomos, tabela periódica e os grupos dos metais, o que pode ser observado nos mapas dos alunos A5 e A7 nas Figura 25 e 26, respectivamente.

Figura 25 - M1 construído pelo A5.



Fonte: A5.

Figura 26 - M1 construído pelo A7.



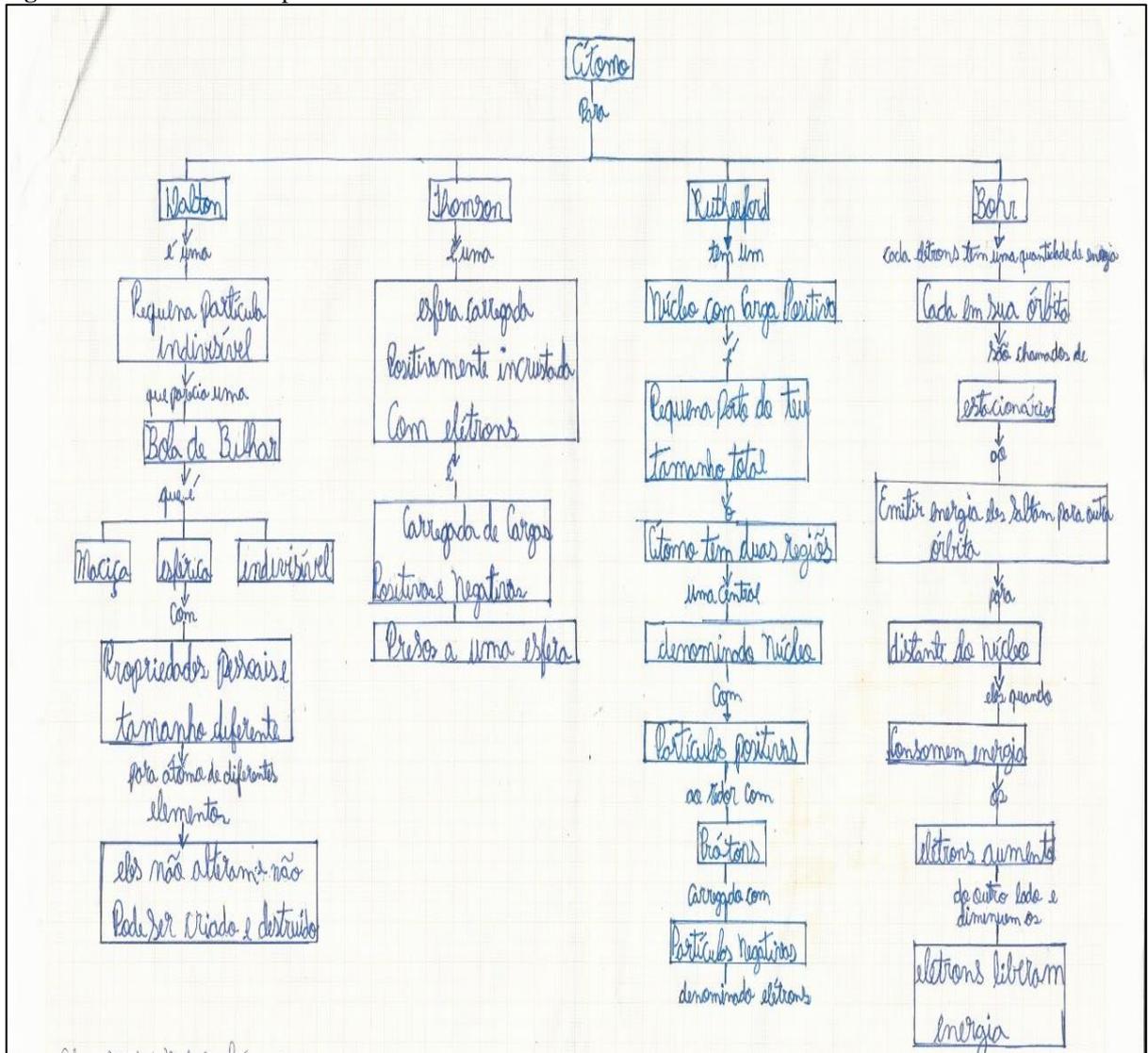
Fonte: A7.

No entanto, eles relacionaram o átomo a um metal, em que a definição considerada adequada vai de encontro com tal concepção, o qual todo o metal é um átomo, mas nem todo átomo é um metal.

Ambos os alunos relacionaram partículas subatômicas com a tabela periódica e não como partículas estruturantes do Átomo: sendo que A7 relacionou com os elétrons e A5 relacionou com os prótons e nêutrons, no qual, que a tabela periódica só nos apresenta a quantidade de cada partícula nos elementos químicos, e não as contém, apresentando um outro equívoco.

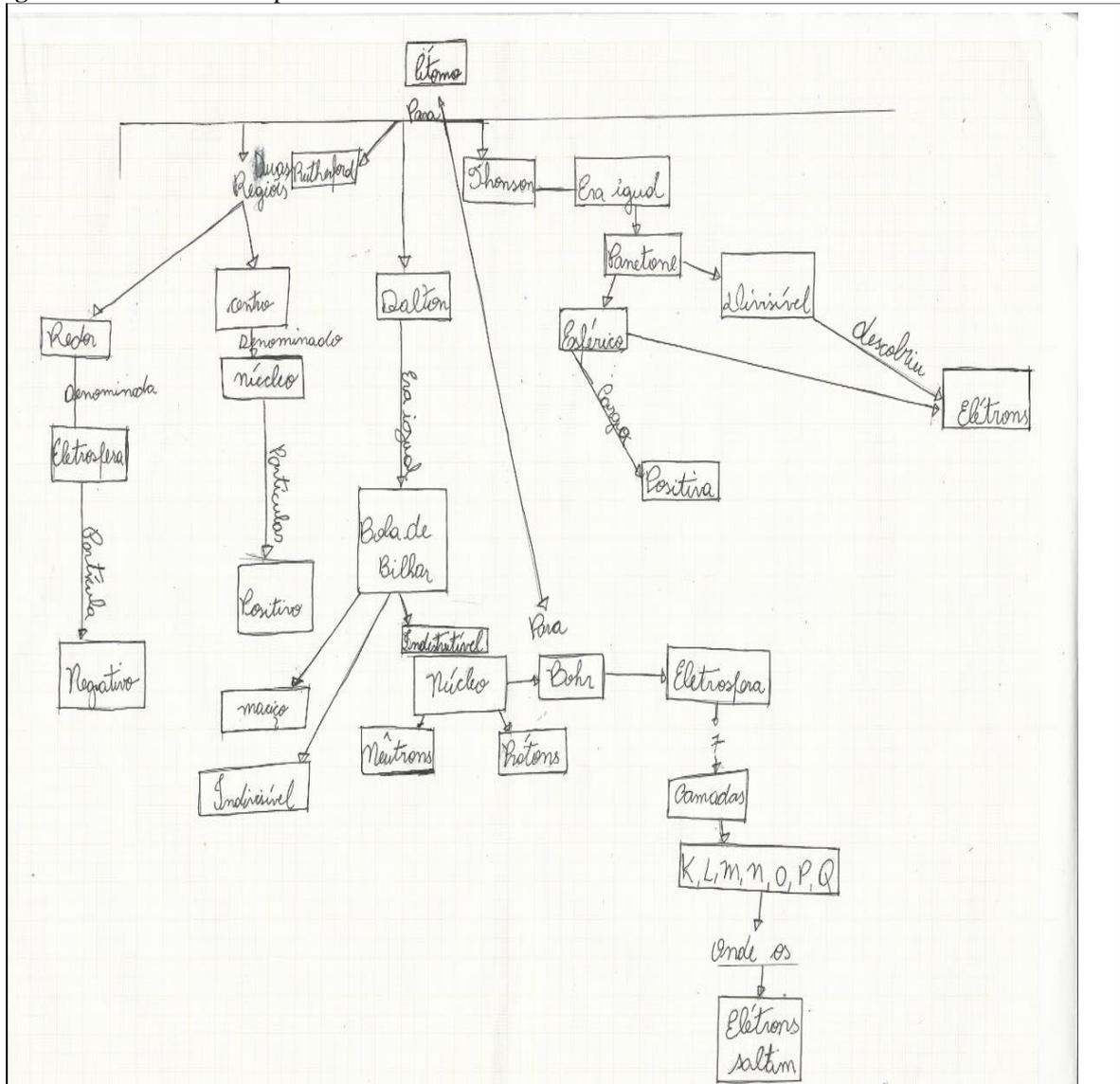
No que contempla as respostas *adequadas*, são as atividades realizadas no decorrer da aplicação da sequência didática (a elaboração da Cartas e M2), com oito alunos (100%), com respostas que são aceitas perante a comunidade científica, os exemplos podem ser observados nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - M2 construído pelo A8.



Fonte: A8.

Figura 28 - M2 construído pelo A7.



Fonte: A7.

Diante do exposto, é possível afirmar que a adequação na utilização do conceito de Átomo é possibilitada aos alunos após o estudo da abordagem Histórico-Epistemológica da Ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa dissertação de mestrado assumiu como objetivo desenvolver uma sequência didática, como Produto Educacional desse trabalho, visando orientar alunos e professores quanto aos significados de conceitos científicos com o uso da História da Ciência, em especial com o histórico da estrutura atômica.

Dessa forma, foi possível observar que a abordagem História-Epistemológica da Ciência, uma vez usada como organizadores prévios, auxiliou na aprendizagem dos alunos. A abordagem Histórico-Epistemológica da Ciência foi utilizada como introdução de novos conceitos, como motivação apresentada para realizar as atividades, em que os alunos ficaram instigados e curiosos em relação à História, não somente do Átomo, mas dos fatos históricos relacionados à época.

A partir das evidências observadas na aplicação das atividades, podemos deduzir que houve uma ampliação dos conceitos referentes ao conceito Átomo. Além disso, verificamos indícios de aprendizagem significativa, uma vez que, no início das atividades, os alunos apresentaram o conceito Átomo voltados a uma definição única e inadequada; já ao fim da aplicação, apresentaram uma noção do conceito de forma Histórico-epistemológica.

No último encontro, os alunos questionaram se os cientistas anteriores estavam equivocados, e se a teoria de Bohr era a teoria final (ou seja, adequada). A resposta a essa pergunta foi que muitos outros cientistas melhoraram tal teoria e até refutaram a teoria de Bohr, e que até hoje se busca a resposta do que é constituída a matéria.

Este trabalho demonstrou a importância em fugir do ensino tradicional, partindo para atividades incitantes e criativas. No caso, a proposta da escrita das cartas aos filósofos, em que os alunos buscaram informações que foram além da Química, destacando a interdisciplinaridade, a qual motivou os alunos possibilitando-os a conhecer o desenvolvimento e as curiosidades no decorrer da História.

Tal atividade que motivou os alunos, também possibilitou ao aluno a noção de como funciona uma pesquisa, em quais fontes procurar e como a pesquisa é importante para seu desenvolvimento cognitivo, fugindo do famoso “copiar – colar”, no qual o aluno só copia o que encontra principalmente na internet sem se preocupar com a aprendizagem.

Consideramos, por meio dos resultados aqui apresentados, relevante a inserção da história da ciência no ensino do conceito Átomo, pois proporcionou fomentos para a síntese dos mapas conceituais, contribuindo para a construção do conhecimento e para indícios de uma aprendizagem significativa.

Tal trabalho teve como limitação, a ausência das reconciliações integrativas nos Mapas Conceituais, e como sugestão para futuras aplicações, que o professor possa dar um enfoque maior durante as leituras das cartas, destacando a diferença existente entre as teorias atômicas no decorrer da História da Química.

Apesar de tal limitação, observada nos Mapas Conceituais, os alunos apresentaram indícios, principalmente nas cartas, as quais apresentaram as diferenças de uma teoria atômica da outra, mas não conseguiram apresentar tal situação na construção dos Mapas Conceituais.

Por fim, este estudo constituiu um contributo para o conhecimento da aplicação da História da Ciência, como um dos muitos recursos existentes que podem proporcionar uma aprendizagem significativa.

Considerando a relevância do tema e a quantidade mínima de trabalhos encontrados, há muito que percorrer nesta área, portanto, um campo fértil de pesquisa para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALTARUGIO, M. H.; SANTOS, C. J. A multiplicação dos átomos: concepções alternativas dos alunos sobre atomística num relato de pré-regência. In: Encontro Nacional de Ensino de Química. 15. 21 a 24 de julho de 2010. *Anais...*, Brasília, 2010.
- ASSIS, A. K. T. *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. Montreal: C. Roy Keys Inc. 2010.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. 1 ed. Paralelo editora, 2003.
- _____. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968
- _____. The Use of Advanced Organizers in the Learning and Retention of Meaningful Verbal Material. *Journal of Educational Psychology*, v. 51, n. 5, p. 267-272. 1960.
- _____. *The psychology of meaningful verbal learning*. Oxford, England: Grune & Stratton, 1963.
- _____. A Subsumption Theory of Meaningful Verbal Learning and Retention, *The Journal of General Psychology*, v. 66, n. 2, 213-224, 1962.
- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Trad: Luís Antero Reto, São Paulo: Edições 70, 2016.
- BOHR, N. On the constitution of atoms and molecules, Part I. *Philosophical Magazine Series* 6, n 26 p.1–25, 1913.
- BRASIL, Ministério da Educação e Cultura, República Federativa do Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio*. Brasília: MEC, 2000.
- CHASSOT, A. I. *A ciência através dos tempos*. 2 ed. reform. São Paulo: Editora Moderna, 2004. (Coleção polêmica).
- CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 3. 2013.
- GALIAZZI, M. C et.al. Perfis conceituais sobre o átomo. *Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, 1997.
- GIL-PÉREZ, D.; et al. Para uma imagem não deformada no ensino de ciências. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.
- GOLDENBERG, M. *A arte de pesquisar*. Rio de Janeiro: Record, 1997.
- MELO, A. C. S.; PEDUZZI, L. O. Q. Contribuições da epistemologia Bachelardiana no estudo da história da óptica. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 1, p. 99-126, 2007.

LUCCAS, S; LUCAS, L. B. Abordagem histórico-epistemológica como aporte metodológico para o ensino do conhecimento científico e matemático. In: *Perspectivas da educação matemática*, Campo Grande, v. 5, n.10, p. 107 – 122, 2012.

MARTINS, J. B. *A história do átomo: de Demócrito aos quarks*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia E Ensino De Ciências: A Tendência Atual De Reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, v. 12, n. 3, p.164-214, dez. 1995.

MINAYO, M. C. S. (Org.). *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2001.

MOREIRA, M. A. (Org.); et.al. Teoria da Aprendizagem Significativa: Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, 2003.

MOURA, J.V.S.B.; LOURINHO, L. D.; VALDÊS, M. T. M.; FROTA, M.A; CATRIB, A. M. F. Perspectiva da epistemologia histórica e a escola promotora de saúde. *História, Ciências, Saúde*, v. 14, n. 2, p.489-501, abr.-jun. 2007.

NAVARRO, R. F. A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. V. 1, n. 1, 2006.

NIELS, H. V. H. The early meaning of electricity: Some Pseudodoxia Epidemica-I. *Annals Of Science*, v. 23, n. 4, 1967.

NOVAK, J. D. Third Misconceptions Seminar Proceedings. In: *The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Misconceptions Trust: Ithaca, NY, 1993.

_____.; GOWIN, D.B. *Aprender a Aprender*. Portugal: Plátano, 1996.

_____.; CAÑAS, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. *Práxis Educativa*, Ponta Grossa, v.5, n.1, p. 9-29, 2010.

OLIVEIRA, L. A. A.; SILVA, C. S.; OLIVEIRAS, O. M. M. F. Evolução histórica da química: Aspectos gerais e o conhecimento químico na era pré-científica. In: OLIVEIRA, O.M.M.F.; SCHLÜNZEN JÚNIOR, K.; SCHLÜNZEN, E.T.M. (Org.). *Coleção Temas de Formação: Química (Tomo I)*. 1.ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, Editora Unesp, v. 3, p.10–33, 2013.

PARTINGTON, J. R. *A short history of Chemistry*. 3. ed. Nova Iorque: Dover, 1989.

PIVATTO, B; SCHUMACHER, E. Conceitos de teoria da aprendizagem significativa sob a ótica dos mapas conceituais a partir do ensino de Geometria. *REVEMAT*. Florianópolis (SC), v. 8, n. 2, p. 194-221, 2013.

PNEUMOL, J. B. Metodologia utilizada nos artigos de revisão J. *Bras. Pneumol*, v. 37, n. 4, 2011.

ROCHA, G. R. *História do Atomismo: como chegamos a conceber o mundo como o concebemos*. Belo Horizonte: Argumentvm, 2007.

RUTHERFORD, E. The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom. *Philosophical Magazine Series 6*, v. 21, p. 669-688, 1911.

SAMPAIO, R. F, MANCINI, M. C. Estudos de Revisão Sistemática: Um Guia para Síntese Criteriosa da Evidência Científica. *Rev. Bras. Fisioter.* São Carlos, v. 11, n. 1, p 83-89, jan./fev. 2007.

SILVA, J.L.; et.al. A utilização de vídeos didáticos nas aulas de química do ensino médio para abordagem histórica e contextualizada com o tema Vidros. *Química Nova na Escola*, v. 34, n.4. 2012.

SILVA, R. P. Átomo ou Célula? Uma Investigação sobre as Concepções Alternativas dos Alunos sobre Átomos. In: Encontro Mineiro Sobre Investigação na Escola. 4. *Anais...Ituiutaba*, p. 1-8, 2013.

THOMSON, J.J. On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *Philosophical Magazine Series 6*, v.7, n. 39 p.237-265, 1904.

_____. Cathode rays. *Philosophical Magazine*, v.44, p. 293-316, 1897.

VASCONCELLOS, T. F.; RODRIGUES, A. P.; GOMES, G. A. Concepções alternativas dos modelos de átomos dos alunos do ensino médio de uma escola pública em Sobral-CE. In: Congresso Nacional de Educação.3. 2012. *Anais...* Natal, 2016.

VIDAL, B. *História da Química*. Lisboa, Portugal: Barbosa e Santos, 1986.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A
ATIVIDADE I

Aluno (a): _____ **Data:** _____

Disciplina: Química **Série:** _____

1) Preencha o quadro a seguir destacando as características diferentes e semelhantes entre as escolas filosóficas da Grécia da Antiga, em relação à constituição da matéria.

NATURALISTAS	ATOMISTAS

APÊNDICE B

ATIVIDADE CARTA

Modelos Atômicos - QUÍMICA

VAMOS TRABALHAR EM GRUPO

Vamos viajar no tempo agora, mas não sozinhos, mas sim com seus amigos de classe, para isso vamos dividir a sala em 4 grupos

Com a ajuda de um computador, livros, revistas, etc., cada grupo vai viajar para épocas diferentes, para descobrir qual era a definição do Átomo em cada época. Então se acomode e vamos descobrir para onde cada um vai viajar:

GRUPO I: Este grupo vai viajar para o ano de 1815 (DALTON)

GRUPO II: Este Grupo vai viajar para o ano de 1900 (THOMSON)

GRUPO III: Este Grupo vai viajar para o ano de 1911 (RUTHERFORD)

GRUPO IV: Este Grupo vai viajar para o ano de 1914 (BOHR)

OBS:

Depois que realizada a viagem por meio de uma carta conte-nos como foi:

1. Para que país você viajou;
2. Com qual cientista você conversou;
3. Qual a definição deste cientista para o Átomo;
4. O que diferencia o modelo dele do aceito anteriormente a ele (No caso de quem vai viajar depois de 1900).
5. Como as pessoas se vestiam (podem utilizar imagens), o que estava acontecendo no mundo naquela época.
6. Quais outros fatores que os viajantes consideravam relevantes.

Como escrever uma carta:

Acesse os Links Abaixo e veja como escrever uma carta.

<https://pt.wikihow.com/Escrever-uma-Carta>

<https://pt.wikihow.com/Escrever-uma-Carta-Formal>