



UFU - Universidade Federal de Uberlândia
Física Licenciatura - INFIS

GUILHERME AUGUSTO DE OLIVEIRA

A História do Átomo em Exposição

UBERLÂNDIA-MG
2017

GUILHERME AUGUSTO DE OLIVEIRA

A História do Átomo em Exposição

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física Licenciatura da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador(a): Prof^ª Dra. Silvia Martins dos Santos

**UBERLÂNDIA-MG
2017**

GUILHERME AUGUSTO DE OLIVEIRA

A História do Átomo em Exposição

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Física da
Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para a obtenção
do título de licenciado em Física.



Prof. Dra. Silvia Martins Dos Santos (orientadora)



Prof. Dr. Ricardo Kagimura



Prof. Dr. Tomé Mauro Schmidt

22 de dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram e me ajudaram de todas as formas, sem eles não havia conseguido.

A minha namorada por me mandar escrever meu TCC ao longo do período e incentivar meus sonhos.

Aos grandes professores que tive ao longo do meu curso que contribuíram no meu aprendizado. Mas especialmente ao Tomé Schmidt que conversou comigo e esclareceu todas minhas dúvidas a respeito do curso. Alessandra Riposati que me acolheu no curso de física licenciatura. Ao Eduardo Takahashi pelas viagens e debates em aulas que me proporcionou grande ensinamento. O Ademir e a Bhya que realmente trabalharam as indiferenças e respeito pelo meio da física e LIBRAS respectivamente. Ao Ricardo Kagimura que me ensinou física em mesa de bar.

Aos alunos Carla Mariana, Lucas Henrique e Lucas Souza com os quais aprendi muito.

A realmente as pessoas que contribuíram de forma direta para a construção desse trabalho, Denilson responsável por boa parte da produção do projeto piloto. Aos professores Deividi Marcio e Eduardo Takahashi que me ajudaram na seleção do conteúdo e resolução do Átomo de Hidrogênio respectivamente. Aos alunos Matheus e Maryelly por contribuírem com parte do conteúdo da seção de quântica. Ao meu pai que me ajudou a confeccionar parte da exposição material. Ao Ivair que montou a mascote da exposição e a Winnie que montou as placas de comunicações. A Ísis Porto com suporte em alguns conteúdos da exposição.

A minha orientadora Silvia Martins dos Santos, que mesmo com minha lerdiceza e ignorância não desistiu de mim, me ajudando a escrever meus artigos para eventos. Acreditando e investindo para a construção da nossa exposição, meu muito obrigado, não teria chegado aqui sem você.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

RESUMO

Sabendo da importância dos átomos e da mecânica quântica, preparamos uma mostra sobre a história do átomo que posteriormente se transformou em uma exposição de museu. Trazemos discussões sobre as concepções alternativas presentes nos materiais didáticos de química e uma possível proposta para introduzir o ensino de mecânica quântica e a interdisciplinaridade entre física e química. A exposição traz os principais modelos trabalhados no ensino médio: Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, e introduzindo brevemente a descrição da mecânica quântica, apresentando os orbitais descritos pela solução da Equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio e, também um modelo não muito conhecido, Nagaoka. Foram elaborados protótipos dos modelos atômicos e de alguns experimentos, buscando discutir as características de cada modelo. Além disso, preparamos uma breve bibliografia de cada autor e a descrição dos experimentos e modelos. Apresentamos também um pouco do formalismo matemático presente em cada modelo, buscando discutir os diferentes aspectos das teorias. Este trabalho foi apresentado pela primeira vez em uma mostra da disciplina de PIPE 5. Durante a mostra, percebemos que os visitantes perceberam que alguns dos conceitos que traziam sobre o tema não estavam totalmente de acordo com a história de cada modelo atômico, permitindo uma discussão mais ampla sobre os mecanismos da ciência. Muitos visitantes não sabiam da existência de um trabalho matemático relacionado a cada modelo, evidenciando a imagem extremamente simplificada do processo de construção do conhecimento. Além disso, como a apresentação dos modelos atômicos, em livros didáticos, vai até o modelo de Bohr, boa parte dos visitantes não conheciam as descrições da mecânica quântica e a relação com os orbitais atômicos. Nesse cenário vimos a necessidade de transformar a mostra em uma exposição como uma possível alternativa para uma melhor abordagem do tema.

Palavras-chave: História do Átomo, Modelo Atômico, Transposição Didática, Museus de Ciência.

ABSTRACT

Knowing the importance of atoms and quantum mechanics, we prepared a exhibition about a history of the atom that becomes a museum exhibition. We bring discussions about how alternative conceptions in didactic materials of chemistry and a proposal for the teaching of quantum mechanics and an interdisciplinarity between physics and chemistry. An expositor of the main models of workers in high school: Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Sommerfeld, and briefly introducing a description of quantum mechanics, presenting the solution orbitals of the Schrödinger equation for the hydrogen atom and also a model not too known, Nagaoka. Prototypes of the business models and of some experiments were elaborated, trying to discuss as characteristics of each model. In addition, we have prepared a brief bibliography of each author and a description of the experiments and models. We also present some of the mathematical formalism present in each model, seeking to discuss the different resources of theories. This work was presented for the first time in the PIPE 5 discipline exhibition. During the show, we noticed that the visitors realized that some of the concepts they brought about the theme are not fully compatible with a history of each emomic model, allowing a more discussion the mechanisms of science. Many visitors didn't know of the existence of a mathematical work related to each model, evidencing an extremely simplified image of the process of knowledge construction. In addition, as a presentation of atomic models, in textbooks, it goes to Bohr's model, much of the visitors not known as descriptions of quantum mechanics and a relationship with atomic orbitals. In this scenario it is a necessity to turn a show into an exhibition as an alternative to a better approach to the theme.

Keywords: History of the Atom, Atomic Model, Didactic Transposition, Museums of Science.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As quatro raízes de matérias e seus opostos Fogo/Água e Ar/Terra.	34
Figura 2: Jhon Dalton (1766 – 1944).	36
Figura 3: Lista de símbolos proposto para cada elemento e algumas substâncias. Os números atribuídos a cada símbolo ou conjunto de símbolo, estão relacionados com a figura 4, ou seja, o símbolo associado ao número 1 é o elemento denominado como 1 na figura 4, nesse caso o Oxigênio, o 2 representa o Hidrogênio, assim sucessivamente.	38
Figura 4: Lista de massa dos elementos e compostos catalogada por Dalton.	39
Figura 5: Joseph John Thomson (1856 – 1940).	41
Figura 6: Tubo de raios catódicos (tubo de Crooks).	42
Figura 7: Forma esquemática do experimento de tubo e raios catódicos alterado por Thomson.	43
Figura 8: Configuração atômica para 2, 3 a 12 elétrons.	44
Figura 9: Hantaro Nagaoka (1865 – 1950).	45
Figura 10: Modelo Saturiano de Nagaoka.	47
Figura 11: Ernest Rutherford (1871 – 1937).	49
Figura 12: Experimento de Geiger e Marsden.	50
Figura 13: Experimento didático de Rutherford.	51

Figura 14: Modelo atômico de Rutherford.	52
Figura 15: Niels Bohr (1885 – 1962).53
Figura 16: Modelo atômico de Bohr, no núcleo encontra-se os prótons (P), os neutros (N), os elétrons (E) estão na eletrosfera que só podem estar em camadas definidas, como a K, L, M que foram representadas na figura, mas existem infinitas camadas.55
Figura 17: Diagrama de energia para as orbitas e as series.59
Figura 18: Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld.60
Figura 19: Espectro visível de Hidrogênio. O espectro são as frequências emitidas nas transições eletrônica, ou seja, quando o elétron volta para camada mais estável. Nesse contexto, para o hidrogênio, existe na transição eletrônica do visível (série de Balmer) 4 frequências diferente que o pode emitir (Nussenzveig, H. M., 2014)61
Figura 20: Modelo atômico de Sommerfeld.61
Figura 21: Erwin Schrödinger (1887-1951).	62
Figura 22: Experimento de Tonomura – 1989. Registrado em 5 tempos diferente, iniciando em a e finalizando em e. Podendo perceber a distribuição dos elétrons ao longo do tempo.	65
Figura 23: Orbitais para o átomo de Hidrogênio.71
Figura 24: A. Bancada 1 - Modelo de Dalton; B. Bancada 2 - Modelo de Thomson; C. Bancada 3 -Modelo de Rutherford; D. Bancada 4 - Modelo de Bohr e Schrödinger; E. Visão geral da exposição.	77
Figura 25: Discussão do modelo de Thomson com o Professor.78

Figura 26: Crianças do ensino fundamental registrando a mostra.80
Figura 27: Alunos do fundamental interagindo com a bancada de Dalton.	83
Figura 28: Alunos do fundamental interagindo com a bancada de Dalton	83
Figura 29: Maquete em escala dos elementos de acordo com modelo Atômico de Dalton.85
Figura 30: Professores de química observando o formalismo matemático por trás do modelo de Thomson.	87
Figura 31: Alunos do ensino fundamental fotografando os formalismos matemático manuscritos em um papel envelhecido do Modelo Thomson.	88
Figura 32: Maquete ilustrando o experimento do tubo de raios catódicos.88
Figura 33: Experimento carga/massa do elétron.	90
Figura 34: Montagem do experimento carga/massa do elétron na plataforma do NUTEC.90
Figura 35: Experimento carga/massa do elétron adaptado para funcionar remotamente.	91
Figura 36: Layout do painel que utilizamos para controlar o experimento da figura 35, a imagem ao lado direito dos objetos de medição (multímetros) é exatamente a resposta do experimento, assim como os números representados nos multímetros. .	. 91
Figura 37: Maquete ilustrando o experimento carga/massa do elétron. Utilizando como referência o experimento que será encontrado na plataforma do NUTEC. .	92

Figura 38: Modelo atômico de Nagaoka e um artigo contextualizando o modelo (esse artigo não é original de Nagaoka)	95
Figura 39: Processo de construção do experimento didático de Rutherford..	95
Figura 40: Alunos do ensino fundamental filmando o modelo de Bohr.	96
Figura 41: Alunos do ensino fundamental fotografando o modelo de Bohr.	97
Figura 42: Orbitais para o átomo de Hidrogênio em biscoit.	99
Figura 43: A. Bancada 1 - Modelo de Dalton; B. Bancada 2 - Modelo de Thomson; C. Bancada 3 -Modelo de Nagaoka; D. Bancada 4 – Modelo de Rutherford; E. Bancada 5 – Semi-Clássicos Modelo de Bohr e Sommerfeld; F. Bancada 6 – O átomo pelo ponto de vista da Mecânica Quântica; G. Bibliografia e artigo original de Schrödinger, acompanhado dos orbitais.	101

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Massa dos elementos segundo Dalton e Atual..... 40**
- Tabela 2: Valores para os níveis de energia do átomo de Bohr.59**
- Tabela 3: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. 84**
- Tabela 4: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. Nesse caso os visitantes da mostra em PIPE 5 não manifestaram a necessidade de manipulação do tubo de raios catódico. 89**
- Tabela 5: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. Nessa tabela percebemos que o público do Brincando e Aprendendo não possuía conhecimento do modelo de Nagaoka e nem tinham noção do real experimento de Rutherford. 94**
- Tabela 6: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. Nessa tabela para o público do Brincando e Aprendendo tinha em mente que o último modelo proposto foi o de Bohr. 98**

SUMÁRIO

1. Introdução.....	15
2. Museus e Elementos de uma Exposição: A Transposição Museográfica e o Objeto.....	17
2.1. Museus.....	17
2.2. A Transposição Museográfica.....	19
2.3. O Objeto Museal.	21
3. Metodologia.....	23
3.1. Levantamento Bibliográfico	26
3.2. A Escolha dos Materiais	27
3.3. Avaliação: relação com o Público	28
3.4. Reestruturação.	29
3.5. Os Sujeitos.	29
3.6. O Ambiente	30
3.6.1. A disciplina.	30
3.6.2. O Museu DICA.	30
3.6.3. O Brincando e Aprendendo.	32
4. A História do Átomo: Elementos para a Transposição Museográfica.	32
4.1. Átomo e Modelo.	33
4.2. O Modelo de Dalton.	36
4.2.1. Jhon Dalton.	36
4.2.2. Por que ele Propôs esse Modelo?	37
4.2.3. O Modelo Atômico de Dalton.	37
4.3. O Modelo de Thomson.	41
4.3.1. Joseph John Thomson.	41
4.3.2. Por que ele Propôs esse Modelo?	42
4.3.3. O Modelo Atômico de Thomson.	43

4.4.	O Modelo de Nagaoka.	45
4.4.1.	Hantaro Nagaoka.	45
4.4.2.	Por que ele Propôs esse Modelo?	46
4.4.3.	O Modelo Atômico de Nagaoka.	47
4.5.	O Modelo de Rutherford.	48
4.5.1.	Ernest Rutherford.	48
4.5.2.	Por que ele Propôs esse Modelo?	50
4.5.3.	O Modelo Atômico de Rutherford.	51
4.6.	O Modelo de Bohr.	53
4.6.1.	Niels Bohr.	53
4.6.2.	Por que ele Propôs esse Modelo.	54
4.6.3.	O Modelo Atômico de Bohr.	55
4.7.	O Modelo de Sommerfeld.	60
4.7.1.	Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld.	60
4.7.2.	Por que ele Propôs esse Modelo?	61
4.7.3.	O Modelo Atômico de Sommerfeld.	61
4.8.	O Átomo e a Mecânica Quântica: Solução da Equação de Schrödinger para o Átomo de Hidrogênio.	62
4.8.1.	Erwin Schrödinger.	62
4.8.2.	A Mecânica Quântica e o Átomo.	63
5.	A História do Átomo em Exposição: a proposta piloto.	71
5.1.	Bancada 1: Modelo de Dalton.	74
5.2.	Bancada 2: Modelo de Thomson.	75
5.3.	Bancada 3: Modelo de Rutherford.	76
5.4.	Bancada 4: Modelo de Bohr e Schrödinger.	76

6. As Relações com o Público e Proposta de Reestruturação.	78
6.1. O Público e o Modelo de Dalton: as ideias da bola de bilhar	81
6.1.1. Relação com o Público.	81
6.1.2. Novas Ideias.	84
6.2. O Modelo de Thomson: Pudim de Passas e a Estabilidade Atômica. ...	86
6.2.1. Relação com o Público.	86
6.2.2. Novas Ideias	89
6.3. O Modelo de Rutherford: Experimento da Folha de Ouro e o Cientista Nagaoka.	92
6.3.1. Relação com o Público.	92
6.3.2. Novas Ideias.	94
6.4. O Modelo de Bohr: Rumo a Interpretação pela Mecânica Quântica. ...	96
6.4.1. Relação com o Público.	96
6.4.2. Novas Ideias.	98
7. A Exposição Final.	99
8. Considerações Finais.	102
9. Referências Bibliográficas.	103

1. Introdução

Podemos afirmar que tudo o que nos rodeia é formado por átomo, e que estes por sua vez possuem massa e carga (LAVOISIER, A. L., 1789, TRADUÇÃO: TRINDADE, L. S. P., 2006) (STRATHERN, P., 1940, TRADUÇÃO: BORGES, M. L. X. A., 2002). E não para por aí. Hoje conseguimos também uma estimativa até do seu tamanho, ou melhor, do seu raio (PEIXOTO, E. M. A., 1977). Mas será que sempre foi assim? E como os conhecimentos foram organizados para as propostas do modelo atômico atual? Como os átomos são responsáveis por constituir tudo ao nosso redor, acreditamos que seja uma tarefa indispensável apresentar discussões sobre o assunto, para permitir uma melhor compreensão acerca dos modelos atômicos.

Além disso, as diretrizes curriculares (MEC, 2013) defendem a interdisciplinaridade e a abordagem de mecânica quântica no ensino médio, o que são desafios para os pesquisadores na área de ensino de física e química. Será que teríamos como montar uma ação interdisciplinar, de química e física, abordando os modelos atômicos e, conseguindo ainda, introduzir conceitos de mecânica quântica? Nessa linha de pensamento, acreditamos que a história do átomo pode colaborar para a realização dessa ponte interdisciplinar entre a química e a física, além de ser uma opção para abordar a mecânica quântica.

Nesse cenário, o curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia possui uma disciplina “Projeto Integrado de Práticas Educativas 5 (Pipe 5)”, que tem como um dos objetivos a discussão de estratégia para o ensino de tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) na educação básica. As estratégias para a inserção da FMC na escola básica foram discutidas e nas discussões percebemos que uma exposição com essa temática em um Museu de Ciências, seria uma abordagem com potencial para contribuir para a discussão desses conteúdos, tanto na educação básica quanto para a população em geral, visto que a mecânica quântica é bastante controversa quando discutida pelo público leigo, por causa da pseudociência (MARÇAL, D. 2014) (FIGUEIREDO, J. M. L. 2005).

Entre as discussões, foi estabelecida e proposta uma exposição, na forma de uma atividade organizada com caráter de aprendizado descentralizada do educador focado no aprendiz e que não é desenvolvida com o objetivo avaliativo, certificada ou com um currículo definido, ou seja, atividade não formal (MARANDINO, M. 2008).

Assim, foi proposta aos estudantes da disciplina, a elaboração de mostras temáticas, relacionadas aos conteúdos de FMC, que seriam avaliadas e, aquelas com potencial para tornarem-se embriões de mostras permanentes, posteriormente ampliadas e integradas às ações do museu Dica, do Instituto de Física (Infis) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

O Museu Diversão com Ciência e Arte – Dica é um órgão complementar do Instituto de Física da UFU, onde a ciência, tecnologia e conhecimento são discutidos de uma maneira divertida relacionada com o cotidiano, que busca despertar o interesse pela ciência e despertar o pensamento crítico, de uma maneira divertida, num ambiente não formal de educação. Assim, o Museu Dica apresenta-se como um espaço rico para a discussão de temas controversos e busca envolver estudantes na proposta de novas exposições.

É nesse cenário que esse trabalho se apresenta, apresentando um relato do processo de idealização e montagem de uma exposição sobre a história do Átomo, considerando desde o Modelo de Dalton e se estendendo até a visão do átomo pela Mecânica Quântica, com a apresentação dos orbitais e da solução da equação de Schrödinger.

Segundo Van-Praet e Poucet (1992), a montagem de uma exposição deve considerar vários elementos, tais como: o lugar, o tempo e a importância dos objetos (1992, apud Marandino, M. 2008 p 20). Essas considerações devem ser válidas, pois, o tempo que as pessoas passam em uma exposição normalmente é curto, então precisamos saber selecionar bem os objetos para que possam expor o conteúdo pretendido e ao mesmo tempo se preocupar com o preenchimento do local de uma maneira organizada e agradável.

Além disso, a linguagem, a forma com que os textos, as imagens e os objetos são apresentados é que darão sentido à exposição (MARANDINO, M. 2008 p. 20). Uma vez que um conjunto de objetos por si só não representa uma exposição, e é importante considerar o contexto, objetivos na idealização da mesma.

Assim cenário para a transposição museográfica de um tema tão amplo como a história do átomo, buscamos não só apresentar os modelos com imagens e textos, mas considerar o apelo visual de cada modelo, a partir da visualização tridimensional e a discussão das principais características de cada um. Para a construção da exposição utilizamos maquetes, histórias dos personagens, apresentação de artigos, interpretações

físicas e demonstrações matemáticas com o intuito de proporcionar uma imersão nesse universo dos modelos atômicos.

Nesse contexto, esse trabalho apresenta o processo de transposição para uma exposição sobre os modelos atômicos.

O trabalho está estruturado para permitir a compreensão do processo de seleção de conteúdo, construção da exposição, avaliação, reestruturação e proposta inicial da exposição.

Para organizar o trabalho, no capítulo 2 apresentamos alguns aspectos que norteiam a construção de uma exposição de museu. O capítulo 3 trazemos a proposta metodológica. No capítulo 4 os conteúdos considerados no processo de transposição, os modelos atômicos. O capítulo 5 foi reservado para a apresentação da primeira proposta de exposição ainda na disciplina de PIPE 5. O capítulo 6 nos permite discutir as relações estabelecidas entre a exposição e o público em dois cenários diferentes, durante o evento de avaliação da disciplina de PIPE 5 (2016) e durante a mostra do Brincando e Aprendendo 2016, ainda no capítulo 6 fazemos a reestruturação da exposição. O capítulo 7 encontra-se o referencial teórico para o desenvolvimento deste trabalho.

2. Museus e Elementos de uma Exposição: A Transposição Museográfica e o Objeto

2.1. Museus

O Conselho Internacional de Museus (ICOM - International Council of Museums) reconhece como Museu a instituição “que conserve e apresente coleções de objetos de caráter cultural ou científico, para fins de estudo, educação e satisfação”. (ICOM Portugal, 2015).

Nesse cenário, os Museus passam a ser uma possibilidade adicional de relacionar ciência e a sociedade. Essa reação possibilita lançar um novo olhar sobre a experiência de aprendizagem. No entanto, o Brasil está começando nas pesquisas que consideram museus de ciências como espaços educativos extraescolares, mas a produção científica na área vem crescendo a cada ano. (MARANDINO, M., 2008).

Assim espaços educativos que contribuíram para a formação do cidadão vem sendo discutido por diversos autores. Para educação científica esse fato é marcante, devido ao crescimento de informações científica presentes em diversas mídias, como: revistas, jornais, vídeos, televisão, páginas em redes sociais... Além do crescimento dos espaços extraescolares, como: os centros e museus de ciências, que juntos vêm promovendo a divulgação científica (CALUZI, J. J., FREITAS, D. e, OVIGLI, D. F. B. 2010). A autora Marandino (2002, apud CALUZI, J. J., FREITAS, D. e, OVIGLI, D. F. B. 2010) destaca:

./../ esse movimento teve início no Brasil na década de 1960, resultado de uma “preocupação da comunidade científica e de educadores/divulgadores da ciência com o letramento científico do cidadão e, ao mesmo tempo, por uma demanda da sociedade por esses novos espaços de informação” p.01

O movimento ao qual a autora se refere são os espaços extraescolares, percebemos que o movimento começou tardiamente no Brasil, mas de acordo com necessidade da população para essas novas informações juntamente com as preocupações da comunidade científica, começaram a investir nesse setor.

A importância das ações em divulgação científica no país ganham consistência por volta dos anos de 1990, expandindo para as experiências de educação não formal, utilizando a criação de novos museus de ciência como uma alternativa. A criação se dá, muitas vezes, por financiamentos governamentais tanto municipais estaduais quanto federais, nesse contexto instituições museológicas no campo das ciências foram financiadas em vários Estados. Entre 1998 e 1999, por exemplo, foram criados o Museu de Ciência e Tecnologia (PUC-RGS), o Espaço Ciência (Recife-PE), o Espaço Museu da Vida (FIOCRUZ-RJ) e o Espaço Museu do Universo (Fundação Planetário-RJ). Além de ter criado a Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciências, em 1998, direcionando para um novo contexto para a organização dessas instituições. Os recursos para essas instituições não se restringem apenas aos órgãos governamentais, existindo também financiamentos por órgãos privados, como é o caso da Fundação Vitae. (CAZELLI, S., MARANDINO, M., STUDART, D., 2003).

Considerando os museus de ciências como espaços educacionais, nesse âmbito as experiências vivenciadas vão além de meras diversões e satisfação. Existem programas e projetos dedicado a seleção de cultura, que passa por um processo de recontextualização, possibilitando a socialização dos saberes acumulados realizada com objetivo de se tornar mais acessível ao visitante. (MARANDINO, M., 2005)..

Os museus estão assumindo cada vez mais e de formas diferenciadas seu papel educativo. Esses espaços podem suprir, ao menos em parte, algumas das carências da escola como a falta de laboratórios, recursos audiovisuais, entre outros meios, conhecidos por estimular e complementar o aprendizado. Sendo assim, os museus vêm sendo caracterizados como locais que possuem uma forma própria de desenvolver sua dimensão educativa, identificados como espaços de educação não-formal, essa caracterização busca diferenciá-los das experiências formais de educação, como aquelas desenvolvidas na escola, e das experiências informais, geralmente associadas ao âmbito da família (MARANDINO, M., 2008).

2.2. A Transposição Museográfica

Consideramos transposição didática como um conceito a ser transferido de um contexto para o outro, mantendo a ideia original, todavia adaptada de acordo com público escolar (BROCKINGTON, G., PIETROCOLA, M. 2005). Assim, quando vamos fazer uma transposição didática, existem fatores a serem considerados, por exemplo: idade, tempo, conhecimentos prévios... Ou seja, informações do público da escola, que é essencial para as transformações necessária no conhecimento a ser transposto.

Quando pensamos em um Museu de Ciências, a relação com o público tem características bastante diferentes da escola. Desse modo, a transposição para o museu deve, da mesma forma que na escola, considerar as especificidades do seu público. De acordo com Marandino (2005) o público do museu (que ela denomina, nesta passagem como cliente) seria:

/.../ o cliente, por outro lado, é livre e passageiro, atendendo a todos os grupos de idade, sem distinção de formação, sendo suas atividades concebidas para os indivíduos ou para pequenos grupos.

Nessa passagem da autora, percebemos que não existe um padrão, tanto em questão de idade quanto de conhecimentos prévios. Então a transposição museográfica possui características semelhantes à transposição didática, no entanto, possui desafios diferentes em relação à abordagem de conceitos e conteúdos pela sua relação com o público.

Enquanto na transposição didática, ou seja, o público da escola, se preocupa com alunos que as vezes possui homogeneidade de idade, com um grau de conteúdo semelhante e um professor disponível para retirar dúvidas. A transposição museográfica visa visitante de diferente faixa etária, podendo ou não ter conhecimento no tema abordado (MARANDINO, 2005). Neste contexto precisamos pensar em estratégias de transposição diferente da didática, para que todos que frequenta a exposição consiga interagir e compreender a ideia ilustrada sem precisarem de um intermediador, uma vez que o cliente é livre.

Para isso a autora destaca a importância dos saberes, o “*saber sábio*” e o “*saber a ser ensinado*”. O *saber sábio* é aquele que percorre a área acadêmica e a transposição tem como objetivo transformar esse saber em *saber a ser ensinado*, ou seja, manter a veracidade da informação de forma que seja acessível aos frequentadores do museu ou a escola.

Pensando nos desafios da transposição museográfica, qual forma de fazela? Marandino (2001), levanta alguns pontos a respeito do assunto

/.../ considerando a questão da transposição didática/museográfica, pode-se afirmar que, ao ser elaborada, uma exposição requer seleção de conteúdos, e esta seleção está condicionada tanto por elementos internos ao objeto do conhecimento... quanto à externos, relacionados à forma de apresentação (comunicação visual, design), aos financiamentos, à administração e gestão do museu, à origem e especificidade do acervo, entre outros.

O objeto seria o recurso essencial na transposição, pois sem ele não existiria a exposição, mas este por sua vez tem que está associado a um conteúdo selecionado, essa seleção deve ser de uma maneira acessível para aqueles que não detém

conhecimento algum do assunto e ao mesmo tempo contemple aquele com conhecimento a respeito.

2.3. O Objeto Museal

Se perguntarmos o que é um objeto museal a qualquer indivíduo, de acordo com Nascimento (1994) poderíamos encontrar resposta do gênero:

/.../ são as “coisas” antigas, representações do passado (preferencialmente os objetos materiais dos séculos XVI, XVII, XVIII, XIX) e os nossos do século XX realizados por artistas renomados ou aqueles objetos do cotidiano de um segmento social que aguardam a elevação cultural de “peças de museu” (Nascimento, 1994, p.07).

Nessa passagem podemos perceber que a autora traz que algumas pessoas associam o objeto de museu a algum objeto que já foi levado ao desuso e que os objetos e obras atuais precisam sair do cotidiano para se elevar a peças de museus. A autora Nascimento (1994) menciona uma justificativa para essa concepção:

/.../ esta compreensão do que seja o objeto museal é ratificada historicamente pelo conceito tradicional que o define e o sacraliza, atribuindo-lhes valores culturais estéticos e históricos, quando retirado do seu contexto original, para serem preservados nas coleções dos Museus, perdendo a sua relação como produção do homem (Nascimento, 1994, p.07).

Assim podemos perceber que a concepção do objeto de museu está associada ao antigo/desuso é comprovada historicamente, onde com o passar do tempo os vestígios de uma sociedade que antecedeu vão sendo guardado em exposições para uma melhor compreensão da história. Parte desses objetos vão evoluindo ou sua função não é mais necessária, assim acaba em acervos de museu, perdendo a relação com a sociedade atual. Criando a concepção mencionado anteriormente.

Atualmente temos museus que não possui objetos antigo, pelo contrário, o acervo é totalmente tecnológico, como o museu do Amanhã propondo como podemos viver nos próximos 50 anos (museudoamanha. Acesso 12/12/2017).

Percebemos que alguns museus possuem objetos antigos no acervo, mas o crescimento dos estudos das diversas áreas necessitava da formação de coleções, visando uma melhor sustentação de concepções. Nessas coleções os museus passam a possuir um caráter de instituição científica, Nascimento (1994).

Devido ao grande avanço tecnológico do século XX e XIX, surgiram diversos tipos de museus com finalidades e temáticas diferentes Chinelli, M. V.; Aguiar, L. E. V. (2009). Falcão et al. (2003, apoud CHINELLI, M. V.; AGUIAR, L. E. V., 2009) expõe o que acontece neste cenário:

/.../ vão desde o mero acionamento de botões que desencadeiam o funcionamento de aparatos, displays que propõe perguntas e respostas emitindo luzes e sons, até situações nas quais o visitante pode estabelecer um “diálogo” com o aparato, na medida em que o visitante detém um certo controle sobre os parâmetros que mudam o comportamento do aparato exposto. Para ações diversas há respostas diferentes, que podem levar a indagações do interesse do visitante muitas vezes de forma não imaginada pelos idealizadores das exposições. Nessa perspectiva, o maior grau de interatividade é proporcionado por aparatos que a dão oportunidade de interações subsequentes (p.190).

Vale destacar dois pontos importantes mencionados pelo autor, a primeira que não necessariamente um objeto precisa ser manipulado, podendo ocorrer apenas um ‘diálogo’ como mencionado com o mesmo. O segundo ponto desrespeita a interatividade do objeto e como essa interatividade dará sequência na exposição em questão. Assim existem tipos diferentes de interatividade, como explorado por Vieira, Santos e Moras (2006, apoud CHINELLI, M. V.; AGUIAR, L. E. V., 2009):

/.../ pelo observar, acionar, tocar ou manusear os experimentos; pelo ler, comparar, registrar; e, ainda pelo jogar. Estes modos correspondem a uma interação concreta e direta. Num segundo momento, temos a interatividade em níveis, interagir e questionar, decidir, refletir e implica em dialogar e atuar. Por fim, nun terceiro momento, mais abstrato de interação com os experimentos, os visitantes desenvolvem interpretações, explicações, teorizações e, assim, uma maior compreensão dos fenômenos com os quais interagem (p.01.)

Podemos perceber que a interatividade com o objeto pode ser de forma direta, com a manipulação de experimentos, jogar, manusear software. No segundo momento temos a capacidade interação de refletir, o terceiro e o último criar explicações e teorias sobre os experimentos.

O objeto que cumpre o terceiro momento está dentro dos pensamentos de como Piaget, Vygotsky e Paulo Freire, a construção de ideias gerais a partir da manipulação do objeto (JOFILI, Z., 2002). De acordo com esses pensamentos precisamos trabalhar para os objetos cumprirem essa função, não apenas dando interatividade e conceitos prontos. O visitante tem que ser capaz de interagir com o objeto e ser capaz de refletir, conseguindo criar conceitos.

Assim percebemos que “coisa” antiga, desde que, evolvida em um contexto, pode ser um objeto museal, mas não necessariamente o único. Conforme o contexto podemos possuir experimentos, computadores com software, estatuas... que são também objetos de museus.

3. Metodologia

Este trabalho apresenta o processo de transposição museográfica da história dos átomos e foi organizado como segue:

1. Levantamento bibliográfico;
2. Escolha os materiais da exposição;
3. Avaliação: relação com o público;
4. Reestruturação;
5. Sujeitos da pesquisa;
6. O ambiente da pesquisa.

A comunicação de uma exposição se torna um elemento importante na transposição museográfica. Falcão (2007), nomeia a junção de objeto com a comunicação de aparato e é analisada em três aspectos: contexto de criação do aparato, expectativas dos idealizadores do ganho do público com a manipulação do aparato e seleção de elementos que compõe o modelo científico em questão. Consideramos esses aspectos essenciais para o nosso trabalho da exposição.

O primeiro aspecto mencionado é o contexto de criação do aparato, o mesmo é subdividido em cinco grupos de acordo com o autor, são eles:

- ***As razões para a criação de um aparato:*** qual a relevância da criação para ilustrar o que deseja ser explorado;

Nessa passagem precisamos ter em mente algumas questões. A primeira é se em algum momento já fizeram algo semelhante ou o tema já foi abordado. A segunda será que esse aparato é a melhor forma de aborda o assunto e dessa forma conseguimos atingir o nosso objetivo?

A primeira consideração acreditamos ser importante, pois se já produziram aparatos semelhante e buscamos como foi a interação com o público podemos ter uma prévia de um possível comportamento, observando aspectos que nos ajude a montagem do nosso aparato.

A segunda parte apesar de parecer mais ideias, podemos concretiza-la. Como o público do museu é diversificado (Marandino, 2005), faça um levantamento com esse público diversificado, assim terá pontos de vistas diferentes contribuindo para a melhor forma de construção do aparato.

- ***O processo de negociação envolvido na criação do aparato:*** qual a visão dos cientistas, por exemplo;

Precisamos fazer esse trabalho conjunto com o cientista, pois ao tentarmos simplificar o torna lúdico podemos acabar cometendo transposições equivocadas sem percebermos e o cientista pode fazer um redirecionamento para uma abordagem diferente, mais verídica.

- ***A intenção de desenvolver uma abordagem original:*** de qual forma esse aparato estará complementando (de maneira válida) o modo de abordagem atual do tema, por exemplo: um tema da grade curricular do ensino formal, Átomos;

A ideia nesse tópico é que a abordagem que o aparato vai ilustrar seja de uma forma diferente vinculada na escola ou na mídia por exemplo.

- ***O combate a concepções errôneas:*** pode ser uma alternativa para o combate de concepções errôneas;

Existe muito trabalhos de pseudociências (MARÇAL, D. 2014) (FIGUEIREDO, J. M. L. 2005), a exposição pode ser um ambiente para explorar tema pouco comum para a população.

- ***A experiência pessoal do idealizador:*** a vivência do autor será a motivação na elaboração dos aparatos.

A vivencia do idealizador acaba influenciando na criação do aparato. Principalmente na escolha do tema. E não é errado, mas precisa se atentar e não deixar a inspiração de construção de um aparato original sobrepor a veracidade do conteúdo.

O segundo aspecto são as expectativas dos idealizadores no ganho do público com a manipulação do aparato, por sua vez é dividido em dois subgrupos:

- ***Quanto ao conteúdo:*** nesse caso espera-se quatro subtipos de conteúdo. O conhecimento diretamente abordado no aparato; um aparato que requer um conhecimento prévio para a interação acontecer; uma conexão de áreas, ou seja, relacionando a geografia com a matemática, por exemplo; o último caso, que espera que o visitante construa ideias gerais e conceitos;

Pensadores como Piaget, Vygotsky e Paulo Freire incentiva o último caso, a construção de ideias gerais (JOFILI, Z., 2002), acreditamos que a transposição museográfica precisa trabalhar com os dois últimos caso simultaneamente, exigindo assim um raciocínio por parte do visitante. Depender de conhecimento prévio nos aparatos, não é a melhor opção, pois o público é diversificado (MARANDINO, 2005).

- ***Quanto à experiência:*** ter a oportunidade de experimentar algo totalmente diferente.

Criar uma abordagem totalmente diferenciada, é uma forma de poder criar lembranças inapagáveis ao visitante.

O terceiro e último aspecto seria a seleção de elementos que compõe o modelo científico em questão, que é subdividido em três grupos:

- *Aparatos como ferramentas de representação*: são recurso utilizado para as transposições didáticas;
- *O aparato deve representar a verdade*: deve se aproximar o mais possível do real;
- *O aparato é o que deve ser*: nesse caso o mesmo deve ser pensado de forma estratégia para representar de maneira convincente o almejam.

Vamos discutir os três grupos do terceiro e último aspecto juntos. Vamos pegar um exemplo já mencionado, Átomo.

O exemplo mencionado é imaterial, todavia precisamos elaborar o aparato (material) que o visitante consiga compreendê-lo. Esse aparato pode ser interativo ou contemplativo, podendo ser composto por maquetes, softwares, artigos envelhecidos... esses recursos que molda o aparato, mas independente de qual forma, precisa ilustrar o mais próximo do real. Não basta só estar próximo do real, mas precisa cumprir com o objetivo que almejamos.

3.1. Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico buscou fontes de história da ciência e alguns livros e artigos originais para a seleção dos conteúdos a serem transpostos.

O levantamento começou na disciplina de PIPE 5, analisando as bibliografias com calma, percebemos que todas se tratavam de espectros de hidrogênio, raio de Bohr ou orbitais, estando de acordo com o tema da disciplina, mas o nosso grupo sentiu falta da contextualização e um pouco da parte histórica. Assim fomos atrás de bibliografias complementares para resgatar um pouco da história e característica dos criadores de cada modelo para que os visitantes pudessem ter contato com o contexto dos criadores, para se situar da época, trabalho desenvolvido, os principais legados deixados...

No ano de 2015 a SeFis, Semana da Física da Universidade Federal de Uberlândia, organizada pelo instituto de física, recebeu um palestrante que ministrou na

área de História da Ciência sobre Rutherford, esse por sua vez fez considerações a respeito dos materiais didáticos não fazerem uma abordagem completa de átomo. Alguns materiais conteriam concepções errôneas e outras incompletas.

Nesse cenário sentimos a necessidade de uma comparação de bibliografias (DALTON J. 1808), (MARQUES, D.M. 2006), (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006), (ZETILLI, N. 2009) mais específicas dos assuntos com alguns materiais didáticos (PERUZZO, T. M. CANTO, E. L. 1996), (SANTOS, W. L. P. MÓL, G.S. MATSUNAGA, R. T et. Al. 2005), (ABRIL, 2014), assim estaríamos tirando nossas próprias conclusões a respeito das considerações feita pelo palestrante.

Ao desenvolvermos essa comparação percebemos que de fato os materiais didáticos possuíam sim algumas concepções errôneas e outras muito sucintas. Assim percebemos que de fato além de uma mostra de átomo voltada para física moderna, poderia ser relevante está ilustrando modelos anteriores, combatendo parte dessas concepções e estendendo um pouco mais as discussões relacionada com os modelos.

3.2. A Escolha dos Materiais

Os materiais para compor as bancas, acompanhados de alguns referenciais teóricos foram:

- A. Porta-retratos trazendo a foto e as principais informações dos cientistas (LOPES, C. V. M. 2009);
- B. Artigos envelhecidos (Nagaoka, H, 1904) (RUTHERFORD, E, 1911) (DALTON, J, 1808);
- C. Maquetes dos experimentos, quando existissem (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006) (MARQUES, D.M, 2006);
- D. Maquetes representando os modelos (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006);
- E. Banners com algumas informações complementares (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006);

Os porta-retratos eram para o público se familiarizar com o cientista, contextualizando suas contribuições para história. Continham fotos, naturalidade, principais prêmios que receberam, instituições que frequentaram...

Tentamos encontrar os artigos originais de cada cientista para que o público pudesse ter acesso aos trabalhos completos, de como se desenvolveu e foi pensado o modelo pelo autor. Os artigos foram impressos mantendo a originalidade da revista ou do livro que havia sido feito o recorte, em seguida envelhecemos eles acreditando deixa-los mais chamativos.

A maquete do experimento ilustramos com o objetivo dos visitantes entenderem onde os cientistas sustentaram as suas hipóteses.

As maquetes dos modelos serviram para estarem ilustrando o que cada cientista propunha de átomo, além de ser uma formada que encontramos para estarmos decorando o local.

Os banners foram só para complementar a exposição, como imagem e provocações das concepções errôneas para que possamos estar discutindo com quem nos visitava.

Os banners serão substituídos por plaquinhas na exposição definitiva, com intuito de trazer uma reflexão para os alunos, as informações complementares estão em um código QR.

3.3. Avaliação: relação com o Público

Para a avaliação das relações com o público, foram aplicados questionários que permitissem conhecer a opiniões e os conhecimentos prévios desse público. Além de caderno de campo para anotar as reações do público diante de cada parte da exposição.

3.4. Reestruturação

A reestruturação da exposição levou em conta os três aspectos propostos por Falcão (2007) e a avaliação com o público.

Fazendo a inserção de novos modelos e artigos originais, ampliando a discussão do átomo pelo ponto de vista da mecânica quântica e criando uma interatividade para que a mostra não fosse totalmente contemplativa além de disponibilizarmos códigos QRs nas bancadas para quem buscar um conhecimento mais técnico.

Essa interatividade se dá na manipulação do experimento carga/massa do elétron disponível remotamente por uma plataforma do NUTEC.

O NUTEC é um laboratório de ensino de física que visa a utilização de tecnologias digitais da informação e comunicação, com uma plataforma virtual colaborativa propagando o ensino-aprendizado

A experimentação remota é quando adaptamos um experimento de forma que seja acessível a manipulação dele através de comandos recebido por uma plataforma virtual. Conseguimos alterar todas as grandezas físicas do experimento e observar simultaneamente o que acontece no mesmo, de forma não danificá-lo (Cardoso, D. C., 2016).

3.5. Os Sujeitos

Vamos fazer análise dos visitantes nos dois eventos. Durante a mostra de avaliação da disciplina, compareceram majoritariamente professores da educação básica, alguns professores do ensino superior e poucos alunos do ensino médio.

Já no Brincando e Aprendendo, evento que será discutido a seguir, contamos com o público quase que exclusivo da educação básica, com alunos tanto do ensino médio quanto do fundamental.

3.6. O Ambiente

3.6.1. A disciplina

O curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia possui uma disciplina “Projeto Integrado de Práticas Educativas 5 (PIPE 5)”, que tem como um dos objetivos a discussão de estratégia para o ensino de tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) na educação básica.

O projeto começou em PIPE 5, que dividiu a sala em grupos e propôs temas relacionado a física moderna. Cada grupo precisava selecionar um tema para propor uma mostra, as mostras seriam apresentadas em uma manhã de sábado na Universidade Federal de Uberlândia, campus Santa Mônica, no bloco 5S.

O meu grupo na verdade era uma dupla, eu e o Denilson. Denilson é um aluno que cursa Física Licenciatura na Universidade Federal de Uberlândia e realizava a disciplina no momento. A escolha do tema partiu dele, assim escolhemos o tema, a física moderna por trás do Átomo.

3.6.2. O Museu DICA

O museu de Diversão com Ciência e Arte (DICA), é um órgão complementar do Instituto de Física da UFU, onde a ciência, tecnologia e conhecimento são discutidos de uma maneira divertida relacionada com o cotidiano, que busca despertar o interesse pela ciência e despertar o pensamento crítico, de uma maneira divertida, num ambiente não formal de educação. Assim, o Museu Dica apresenta-se como um espaço rico para a discussão de temas controversos e busca envolver estudantes na proposta de novas exposições.

A criação do museu se deu no ano de 2005, residindo no âmbito da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), mais especificamente no bloco X. Com o tempo o museu cresceu e foi transferido para o bloco E, ainda dentro do campus da UFU. Atualmente o museu reside no parque Gávea em Uberlândia, devido a possibilidade de

espaço que o lugar oferece, foi feito um convite para a expansão da mostra em uma exposição definitiva para fazer parte das atividades no âmbito do museu.

Atualmente dentro do museu estão presentes as seguintes atividades:

- Quiosque: Local fechado, onde encontra-se exposição de eletromagnetismo, mecânica, pássaros e agora em 2017 incorporada a história do Átomo;
- Trilha Astronômica: na pista de caminhada do parque foi montado o sistema solar em escala de tamanhos e distância, assim pode fazer uma caminhada e observar a relação de distância e tamanho de cada planeta;
- Praça dos Passarinhos: contém silhuetas das espécies pássaros que habita o parque, trazendo curiosidades de cada uma;
- Praça da Tabela Periódica: A tabela periódica foi construída de modo que público pode estar subindo nela;
- Praça do Carbono: Foi selecionado um elemento que possui várias estruturas, esse elemento foi o carbono, e suas possíveis configurações foram representadas na praça, de forma que as crianças podem estar subindo nas estruturas;
- Praça da Mecânica: experimentos interativos envolvendo o conceito de mecânica estão disponíveis nessa praça.

Além das atividades fixas o museu está envolvido em vários eventos, tais como:

- CineDica: é feita a transmissão de um filme e em seguida um professor comenta as passagens com relação com a ciência, normalmente é realizado de dois em dois meses;
- Telescope Itinerante: o telescope percorre a cidade de Uberlândia, permitindo a visualização da lua e dos planetas saturnos e júpiter, a depender do dia. Essa atividade ocorre mensalmente em lugares diferentes, mas pode ocorrer mais vezes a depender dos fenômenos astronômicos sujeitos no mês;

- Mostra Itinerante: composta por experimento de física, essa passa por escolas, parques e praças. São todos experimentos iterativos e no campo da física;
- Apresentação de minicursos e formação continuada de professores: No ano de 2017 foi oferecido um curso de museu para formação continuada de professores, e um minicurso de Astronomia;
- Ciência Viva: feira de ciências que reúne trabalho de ensino básico das escolas de Uberlândia e região;
- Brincando e Aprendendo: evento com o intuito de fazer divulgação científica de um modo interativo e divertido para os alunos de Uberlândia e região

3.6.3. O Brincando e Aprendendo

O Brincando e Aprendendo é um evento que começou em 2011 organizado pelo museu DICA, anualmente no mês de outubro com a parceria da prefeitura de Uberlândia e da Semana Nacional de Ciências e Tecnologia, com intuito de fazer divulgação científica de um modo interativo e divertido para os alunos de Uberlândia e região principalmente, mas se estende a todos que queira participar. O evento recebe mais de dois mil estudantes de toda faixa etária.

As exposições são feitas por pesquisadores ou instituições de ensino que possuam algum projeto ou pesquisa, e que estejam dispostos a moldar o trabalho com interatividade.

4. A História do Átomo: Elementos para a Transposição Museográfica

A proposta de uma exposição sobre a história do átomo busca materializar, com textos, objetos e ações, as ideias sobre os modelos atômicos, permitindo ao público interagir com todos esses elementos e criar um ambiente propício para a compreensão dessa temática.

Assim, a escolha dos elementos: conteúdo exposto, objeto da exposição, ... devem ser decididos com cuidado para que se possa cumprir com o objetivo da proposta.

Nesse cenário, o primeiro passo está na definição do seu escopo, ou seja, que temas e conteúdos serão abordados. Uma vez que partiremos de um acervo imaterial (a história do átomo) e deveremos construir uma exposição física, com objetos e placas construídos especialmente para “materializar” a história do átomo, o levantamento bibliográfico sobre o tema trazendo questões essenciais sobre cada modelo atômico permitirá a compreensão da equipe sobre as possibilidades dessa proposta.

Assim esse capítulo apresenta um breve estudo, que se consolidou ao longo do trabalho e foi sendo construído junto com as etapas de elaboração dessa exposição.

Ainda que a exposição tenha evoluído, da primeira proposta até a sua reestruturação, nesse capítulo abordaremos os tópicos consolidados ao longo do projeto, sem referências a evolução do mesmo entre uma proposta e outra (como será apresentado na mostra de física nos capítulos 5 e 6).

4.1. Átomo e Modelo

A natureza da matéria é motivo de preocupações desde os tempos remotos, os gregos Leucipo e Demócrito afirmavam que o mundo era formado por átomo e vazio, e segundo Epicuro, tais conceitos não são acessíveis aos sentidos humanos, mesmo que compo-se todo mundo sensível (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006), outros como Tales observando os estados da água achava que tudo deveria ser feito de água. Duas gerações depois de Tales, Anaximenes achava que o mundo era formado de ar, pois ao condensar formava nevoa, depois chuva e pedras (DAVIS, A. H... [et.al], tradução Alice Klesck., 2014).

Uma teoria um pouco mais elaborada está do físico Empédocles, tudo era feito de quatro raízes (não utilizou a palavra elementos): terra, água, fogo e ar, como dois pares de opostos terra/ar e fogo/água, ao misturarem constrói tudo que vemos figura 1 (DAVIS, A. H... [et.al], tradução Alice Klesck., 2014).



Figura 1: As quatro raízes de matérias e seus opostos Fogo/Água e Ar/Terra. Fonte: http://www.quimlab.com.br/guiadososelementos/img/quatro_elementos.jpg acesso 12/12/2017 às 21:34.

Aristóteles não acreditava no átomo. Ele se sustentava nos ensinamentos de Empédocles para defender o antiatomismo e compreender a constituição da matéria (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006). Essa teoria domina o pensamento europeu, com poucas lapidadas até o século XVII com desenvolvimento da química moderna (DAVIS, A. H... [et.al], tradução Alice Klesck., 2014).

A química começa a desenvolver no final do século XVI início do XVII, com a medicina. Devido a necessidade de criar medicamentos, inclusive no início do século XVII algumas universidades, principalmente nos países germânicos, adotam química como uma disciplina de acessório a medicina (FRANCISCO R. H. P. 2002).

Grandes nomes da química surgem nessa época, como: Johann Rudolph Glauber (1604-1670), Jan Baptist van Helmont (1577-1644) e Robert Boyle (1627-1691), esse último propõe uma teoria corpuscular que acreditam ter antecedido a proposta do modelo atômico Dalton no século XIX (FRANCISCO R. H. P. 2002).

Para entender um pouco da estrutura da matéria (átomos) iremos percorrer modelos marcados na história. Vamos compreender um modelo, e sua importância de acordo com os autores CARUSO, F. e OGURI, V. (2006).

.../ Pode-se dizer que o conceito de modelo teve sua origem na própria filosofia de Tales de Mileto, que buscava entender a Natureza de maneira racional, exigindo ainda que a simplicidade estivesse contida em tal entendimento .../ (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006 – p.349).

Assim, podemos perceber que a definição de modelo de acordo com os autores é bem objetiva: representações que consiga simplicidade da natureza de maneira racional para o entendimento.

./.../ Um modelo físico deve ser capaz não só de permitir a explicação do fenômeno estudado, como também de fazer previsões; pode ou não ser coerente com outros modelos ou teorias relacionadas com o fenômeno. A discordância pode, algumas vezes, ser indicativa de novos fenômenos e apontar para a necessidade de novas explicações. A história da estrutura da Matéria está cheia desses exemplos... ./.../ (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006 – p.350)

Nesse contexto percebemos que um modelo pode servir de base para a criação de um próximo, à medida que o mesmo não consegue a explicação de novos fenômenos relacionado com a proposta inicial.

A compreensão da estrutura da matéria por meio dos modelos propostos precisou evoluir à medida que foram sendo observadas as propriedades físicas e químicas, por meio de experimentações e observações (NAGAOKA H., 1904) (RUTHERFORD, E. 1911). Assim, em uma parte da história um modelo atômico mais simples conseguia explicar e compreender a estrutura da matéria, como o caso do modelo de Dalton (DALTON J. 1808) que mostrava como os corpos são formados. Quando foram identificadas as radiações, espectros de linhas e bandas de energia, foi necessário novas propostas para compreensão dos fenômenos identificados que não poderiam ser explicados pelo modelo anterior. (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

Nesse cenário que buscaremos apresentar alguns modelos atômicos que marcaram a história, colaborando para a compreensão da natureza. Procuraremos organizar cada um deles de acordo com suas contribuições. Assim, em cada modelo, faremos: i) uma breve apresentação do cientista responsável pela sua proposição; ii) contextualização das questões que levaram à necessidade da proposição do modelo; iii) Apresentação do modelo, buscando discutir aspectos tanto qualitativos quanto quantitativos.

4.2. O Modelo de Dalton

4.2.1. Jhon Dalton

Jhon Dalton (Figura 2) nasceu na Inglaterra em 1766 e faleceu na cidade de Manchester em 1844 (ebiografia. Acesso 03/12/2017). Foi um químico, físico e meteorologista (FILHO, E. B., 2009), que inicia seus estudos coletando dados meteorológicos devido ao alto índice de pluviosidade da cidade de Manchester. Com esses dados Dalton procura relacionar o vapor de água, os gases presentes na atmosfera e o calor, de maneira estatística, em paralelo, estuda sobre o trabalho de Lavoisier, que será de suma importância para a construção de sua teoria atômica (VIANA 2007). Utilizando o a teoria corpuscular newtoniana, juntamente com seus estudos de misturas gasosas, e pela lei de conservação das massas, Dalton chega a um atomismo mais elaborado, em 1808 (VIANA 2007) (BRAGA, M., GUERRA A. e REIS J. C. 2011).



Figura 2: Jhon Dalton (1766 – 1944). Fonte: https://www.biography.com/.image/t_share/MTE1ODA00TcxNTk5OTU1NDY5/john-dalton-9265201-1-402.jpg. Acesso: 13/12/2017 às 14:52.

De acordo com o autor Viana (2007), existe um grande desafio para os historiadores encontrar a origem da teoria atômica de Dalton, uma vez que cerca de 75% dos trabalhos no âmbito da *Literary and Philosophical Society de Manchester* foram destruídos em virtude da segunda guerra mundial.

Independentemente do que aconteceu, uma coisa é certa, Dalton não se dedicou exclusivamente seu trabalho na construção de teoria atômica. Podemos perceber no livro *New System of Chemical Philosophy*, que dedica seu primeiro capítulo a calor e calórico; trabalhando a expansão do mesmo tanto em líquido quanto em sólido. Assim podemos perceber que existiam outras preocupações para Dalton, das quais são desconsideradas em alguns materiais do ensino de básico (PERUZZO, T. M. CANTO, E. L. 1996).

4.2.2. Por que ele Propôs esse Modelo?

Dalton estudava meteorologia, o que o levou a fazer um estudo detalhado do ar atmosférico, tanto de composição como de comportamento (FILHO, E. B., 2009). Em seu livro *New System of Chemical Philosophy*, estuda combinações de compostos, relações com pesos, densidade e tamanhos (BRAGA, M., GUERRA A. E REIS J. C. 2011), a partir dessas propriedades Jhon Dalton é motivado elabora um modelo atômico, condizente com o que se observava em seus experimentos (DALTON, J. 1808).

4.2.3. O Modelo Atômico de Dalton

De acordo com *alchemy.iq.usp.br* acessado 03/12/2017 a lei de Dalton pode ser assim mencionada:

./../ Se a massa m de uma substância química S pode combinar-se com as massas $m'1$, $m'2$, $m'3$ etc. de uma substância S' , dando origem a compostos distintos, as massas da substância S' estarão entre si numa relação de números inteiros e simples. ./../

Significando que duas substâncias ao se combinarem em uma terceira, mantém o número de elemento químico e a massa total, Dalton inclusive mapeia alguns elementos e substâncias (figura 3). O site condensa essa lei em termos mais acessíveis:

- os átomos são partículas reais, descontínuas e indivisíveis de matéria, e permanecem inalterados nas reações químicas;
- os átomos de um mesmo elemento são iguais e de peso invariável;
- os átomos de elementos diferentes são diferentes entre si;
- na formação dos compostos, os átomos entram em proporções numéricas fixas 1:1, 1:2, 1:3, 2:3, 2:5 etc.;
- o peso do composto é igual à soma dos pesos dos átomos dos elementos que o constituem.

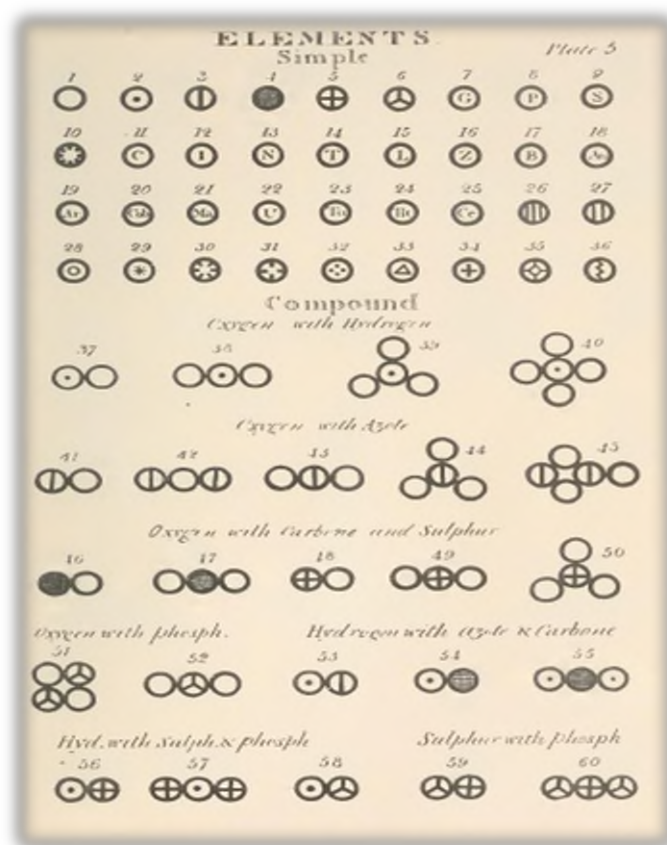


Figura 3: Lista de símbolos proposto para cada elemento e algumas substâncias. Os números atribuídos a cada símbolo ou conjunto de símbolo, estão relacionados com a figura 4, ou seja, o símbolo associado ao número 1 é o elemento denominado como 1 na figura 4, nesse caso o Oxigênio, o 2 representa o Hidrogênio, assim sucessivamente. Fonte: *New System of Chemical Philosophy*.

A partir desse condensado, conseguimos uma ilustração da perspectiva de átomo para Dalton. Nesse sentido Braga, M., Guerra A. e Reis J. C. (2011) discorrem que o cientista já possuía a convenção de diferença de tamanhos para cada elemento químico e também ainda estima a massa para alguns elementos e atribui identificações, como podemos perceber nos recortes do livro *New System of Chemical Philosophy* (Figura 4).

Fig.	Simple.	Wt.	Fig.	Wt.	
1.	Oxygen	7	12.	Iron	50
2.	Hydrogen	1	13.	Nickel	25 ? 50 ?
3.	Azote	5	14.	Tin	50
4.	Carbone	5.4	15.	Lead	25
5.	Sulphur	13	16.	Zinc	56
6.	Phosphorus	9	17.	Bismuth	68 ?
7.	Gold	140 ?	18.	Antimony	40
8.	Platina	100 ?	19.	Arsenic	42 ?
9.	Silver	100	20.	Cobalt	55 ?
10.	Mercury	167	21.	Manganese	40 ?
11.	Copper	56	22.	Uranium	60 ?
Fig.		Wt.	Fig.	Wt.	
33.	Tungsten	56 ?	41.	Nitrous gas	12
34.	Titanium	40 ?	42.	Nitrous oxide	17
35.	Cerium	45 ?	43.	Nitric acid	19
36.	Potash	42	44.	Oxynitric acid	26
37.	Soda	28	45.	Nitrous acid	31
38.	Lime	24	46.	Carbonic oxide	12.4
39.	Magnesia	17	47.	Carbonic acid	19.4
40.	Barytes	68	48.	Sulphurous oxide	20
41.	Strontites	46	49.	Sulphurous acid	27
42.	Alumine	15	50.	Sulphuric acid	34
43.	Silex	45	51.	Phosphorous acid	32
44.	Yttria	53	52.	Phosphoric acid	23
45.	Glucine	30	53.	Ammonia	6
46.	Zircon	45	54.	Olefiant gas	6.4
	Compound:		55.	Carburetted hyd.	7.4
47.	Water	8	56.	Sulphuret. hydr.	14
48.	Fluoric acid	15	57.	Supersulph. hydr.	27
49.	Muriatic acid	22	58.	Phosphuret. hydr.	10
50.	Oxymuriatic acid	29	59.	Phosphur. sulph.	22
			60.	Supersulph. sulph.	31

Figura 4: Lista de massa dos elementos e compostos catalogada por Dalton. Fonte: *New System of Chemical Philosophy*

Dalton menciona a massa dos elementos e compostos em comparação com o hidrogênio (BRAGA, M., GUERRA A. E REIS J. C. 2011), na figura 4, vamos selecionar alguns elementos e a sua massa respectivamente. Por exemplo o Hidrogênio é atribuído o número 1 e o Oxigênio o número 7, isso significa que o oxigênio para Dalton possuía uma massa 7 vezes maiores que de Hidrogênio. O Alumínio o número 15, isso quer dizer que possuía 15 vezes a massa de Hidrogênio.

Vamos construir uma tabela com alguns elementos, fazendo a comparação da massa proposta por Dalton (DALTON, J. 1808) com as aceita atualmente (CHANG, R. 2010).

Elemento	Dalton	Atual
Hidrogênio	1	1,008
Carbono	5,4	12,01
Fosforo	9	30,97
Ferro	50	55,85
Oxigênio	7	16
Mercúrio	167	200,5

Tabela 1: Massa dos elementos segundo Dalton e Atual.

Atualmente a massa é medida em relação a 1/12 do carbono – 12, mas conseguimos fazer uma comparação com Dalton, pois a massa do Hidrogênio medida a partir de 1/12 do carbono 12 é bem próxima de um (CHANG, R. 2010).

Dalton desconhecia a medida em relação ao carbono 12, lembrando que seus estudos foram no final do século XVIII e início XIX (DALTON, J. 1808) e mesmo assim atribuiu um número que está próxima da massa do Hidrogênio em relação a 1/12 do carbono 12 aceita atualmente, que foi seu ponto de partida para determinar a massa dos demais elementos. Alguns elementos ele encontrou valores muito discrepantes, como Carbono e o Fosforo por exemplo, outras nem tanto, como o Ferro.

Outro ponto de destaque é a questão da bola de bilhar, podemos perceber que em nenhuma passagem o autor menciona esse termo, essa analogia presente nos materiais didáticos e site de pesquisa (PERUZZO, T. M. CANTO, E. L. 1996)(DIAS, D. L., *brasilecola* Acesso 19 de novembro de 2017 às 06:11) pode ser considerada de certa forma equivocada, o principal fato se dá a diferença de tamanhos e massa dos átomos, uma vez que as bolas de bilhar convencionais são do mesmo tamanho com mesma massa, com exceção da branca.

4.3. O Modelo de Thomson

4.3.1. Joseph John Thomson

Joseph John Thomson, (figura 5) nasceu em Cheetham Hill, perto de Manchester, Inglaterra, em 1856, falecendo em Cambridge, Inglaterra em 1940. Foi casado com Rose Elisabeth Paget e teve um filho George Paget Thomson (recebeu Prêmio Nobel por encontrar propriedades ondulatório nos elétrons) e uma filha, Joan Paget Thomson (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).



Figura 5: Joseph John Thomson (1856 – 1940). Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5e/JJ_Thomson.jpg. Acesso 13/12/2017 às 20:23.

A maior parte de sua vida, desde 1876, viveu em Cambridge onde conseguiu a bolsa de estudos Minor Scholarship, em matemática. Onde consegue seu prêmio Nobel em 1906 em função da descoberta do elétron. Thomson ainda foi presidente da Royal Society de Londres por 5 anos, iniciando em 1915 (LOPES, C. V. M. 2009).

Com 14 anos ingressou Owens College para cursas engenharia por incentivo de seu pai, onde desenvolveu interesse por química e combinações atômicas da matéria. Os professores incentivaram os seus estudos em Cambridge (LOPES, C. V. M. 2009).

Com 19 anos Thomson ingressou em Trinity Cambridge para estudos em matemática e física. Com 28 anos Thomson foi o terceiro professor a assumir a cátedra de Física Experimental no laboratório Cavendish, que havia sido inaugurado em 1874 por Maxwell (LOPES, C. V. M. 2009).

4.3.2. Por que ele Propôs esse Modelo?

Thomson estava interessando em descobrir o que eram os raios catódicos figura 6. Acreditava que o átomo era composto por partes menores, e que os raios catódicos seriam partes dos átomos (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).

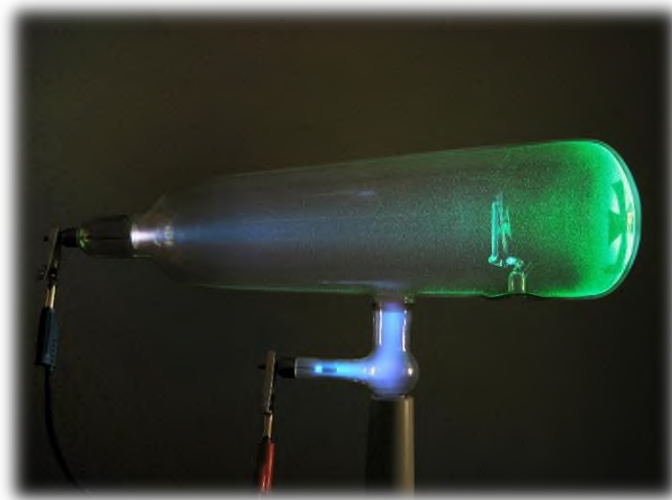


Figura 6: Tubo de raios catódicos (tubo de Crooks). Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Crookes_tube-in_use-lateral_view-standing_cross_prPNr%C2%B011.jpg. Acesso 13/12/2017 às 20:23.

Para isso Thomson altera o tubo de raios catódicos, insere um colimador e duas placas A e B sujeita a um potencial para criar um campo elétrico perpendicular aos raios catódicos, e um anteparo S de sulfeto de zinco para registrar a incidência dos raios (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014), ver figura 7.

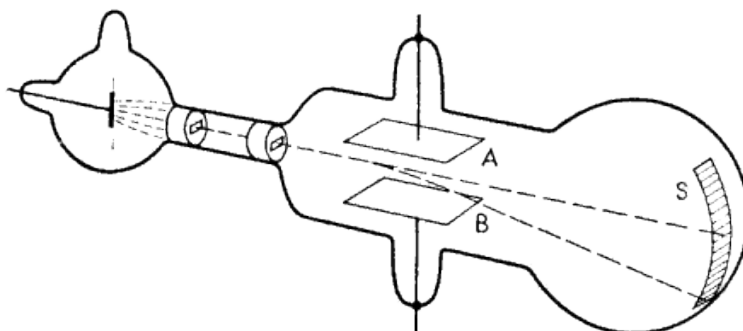


Figura 7: Forma esquemática do experimento de tubo e raios catódicos alterado por Thomson. Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/cientistas/fotos/thomson_01.gif Acesso: 13/12/2017 às 20:45.

Lembrando que Thomson considerava os raios catódicos formados por partículas menores que os átomos. O experimento de acordo a figura 7, foi feito com gás diferentes e o resultado era o mesmo, independentemente do tipo de gás, as partículas incidiam no mesmo ponto do anteparo S. Isso mostrava que as partículas eram iguais, pois caso fossem diferentes se espalhariam de acordo com seu peso ou carga ao passar pelo campo elétrico perpendicular ao raio. Assim concluiu que tais partículas seriam os elétrons e estariam em qualquer tipo de matéria (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).

Foi responsável por descobrir que a carga do elétron é negativa, através do experimento de tubo de raios catódicos (FRANCISCO R. H. P., 2002). O mesmo não utilizou o termo elétron, o termo genérico, corpúsculo foi atado (CARUSO, F. e OGURI, V. p 351, 2006), faremos uso de elétron para facilitar o entendimento. Além disso o seu modelo, criado em 1904, é considerado o primeiro em considerar a dinâmica do átomo (CARUSO, F. e OGURI, V. p 350, 2006).

4.3.3. O Modelo Atômico de Thomson

A temperaturas acima do zero absoluto, todo corpo emite radiação eletromagnética, seriam os elétrons no interior do átomo uma justificativa? Se esses elétrons se encontram parados, não existe princípio de conservação de energia, portanto esses elétrons precisam estar em movimento, a uma velocidade constante, pode existir um referencial que eles se encontram e repouso, caindo no caso anterior. Mas como na relatividade restrita, a descrição do fenômeno físico não pode depender do referencial

inercial, em caso de movimento uniforme, conclui estes não emitem radiação e a energia move com eles (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Thomson é assim motivado, onde propõe um movimento de n -elétrons em anéis concêntricos submerso em uma massa e carga elétrica positiva distribuída uniformemente (figura 7), a segunda consideração, já havia sido feita por Lord Kelvin (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

Podemos perceber que analogia como *pudim de passas* não possui relação com o modelo ilustrado pelo autor, e o principal motivo se dá devido ao equilíbrio dinâmico, uma vez que em um pudim essas passas estão espalhadas aleatórias (PLEITEZ, V. 2003), estáticas e não formam anéis concêntricos.

Outro fator interessante do átomo de Thomson desrespeita a questão de estabilidade, o átomo de Thomson é estável com dois ou mais elétrons, com apenas um se torna inválido as considerações anteriores (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Para um melhor entendimento quantitativo ver CARUSO, F. e OGURI, V, (2006) p. 352 a 355.

O mesmo propõe uma representação esquemática da distribuição de elétrons figura 7, o modelo foi baseado na estrutura de como pequenos polos magnéticos se arranjam na presença de um campo magnético intenso, resultado do experimento de Alfred Marshall Mayer (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

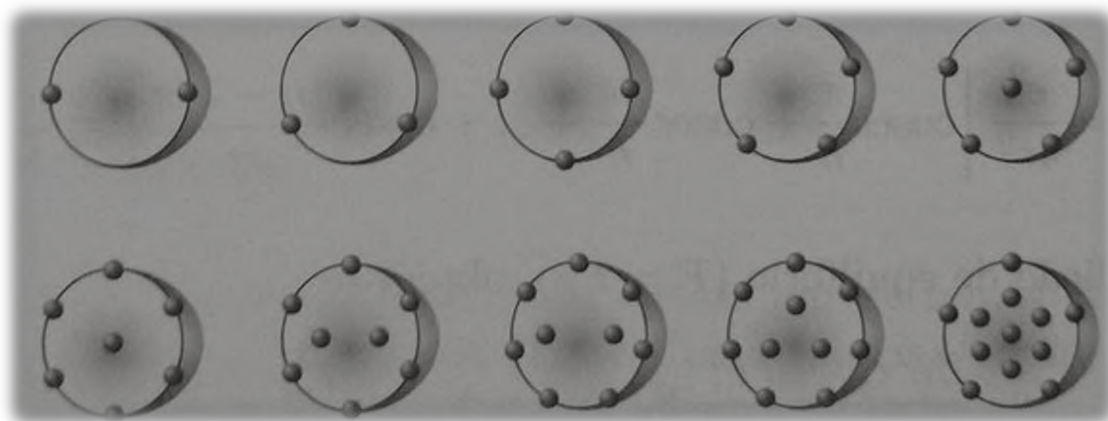


Figura 8: Configuração atômica para 2, 3 a 12 elétrons. Fonte: *Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos* (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

4.4. *O Modelo de Nagaoka*

4.4.1. Hantaro Nagaoka

Hantaro Nagaoka (figura 9) nasceu em Nagasaki em 1865 e faleceu em 1950 (fampeople. Acesso 01/11/2017). De acordo com o site fampeople foi um pioneiro na física japonesa.



Figura 9: Hantaro Nagaoka (1865 – 1950). Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/Hantaro_Nagaoka.jpg

Seus primeiros trabalhos foram com magnetização e magnetostricção no próprio Japão, e seus primeiros artigos publicados utilizaram informações dos trabalhos de Thomson. próprio Japão. Mais tarde, ao finalizar seu doutorado parte para estudar no exterior onde frequentou a Universidade de Berlin e a Universidade de Munique, onde teve oportunidade de estudar gases com Ludwig Boltzmann (LOPES, C. V. M. 2009).

Em 1900 se torna professor no departamento de física da Universidade de Tóquio permanecendo até 1925. Ainda no ano de 1900 participou do Primeiro Congresso Internacional de Física, que aconteceu em Paris (LOPES, C. V. M. 2009).

Um dos fundadores do Instituto de Física e Química de Tóquio. Foi secretário geral da Associação Japonesa Para o Avanço da Ciência (1939 – 1947). Além

de Presidente da Academia Imperial do Japão e presidente da Uniservidade de Osaka nos períodos de 1930 e 1940, deixando assim um grande legado para o avanço da ciência japonesa (LOPES, C. V. M. 2009).

4.4.2. Por que ele Propôs esse Modelo?

De acordo com Fiolhais, M. e Ruivo, M. C 1996, Nagaoka dedicou parte dos seus estudos em compreensão atômica, a motivação veio para compressão dos espectros de linhas e de banda. Como podemos observa de acordo com Nagaoka H., 1904:

././ Desde a descoberta da regularidade das linhas espectrais, a cinética de um sistema material que dá origem a vibrações espectrais tem sido um assunto favorito da discussão entre físicos... A diferença característica entre a linha e a banda espectral no campo magnético, aconteceu nessas investigações teóricas... Proponho discutir um sistema cujas pequenas oscilações concordem qualitativamente com a regularidade observada nos espectros de diferentes elementos e pela qual a influência do campo magnético em espectro de banda e linha é facilmente explicável. O sistema aqui considerado é quase estável e, no mesmo atalho, servirá para ilustrar uma analogia dinâmica da radioatividade, mostrando que a propriedade singular é marcadamente inerente aos elementos com pesos atômicos elevados. No entanto, deve-se ter em mente que o que aqui é perseguido talvez seja o mais concebível facilmente, embora o arranjo real em um átomo químico possa apresentar complexidades que estão muito além do alcance do tratamento matemático./.../ (Nagaoka H., 1906 – p.445. Tradução: nossa).

Nessa passagem podemos perceber que Nagaoka considerava que o assunto favorito dos físicos seriam as vibrações espectrais. O mesmo busca um sistema que consiga discutir qualitativamente a regularidade observada nos espectros de diferentes elementos. Para isso ele trabalha com elementos de pesos atômicos elevados, e nesse momento menciona que o arranjo real de um átomo está muito além das ferramentas matemáticas.

4.4.3. O Modelo Atômico de Nagaoka

De acordo com as considerações levantadas por Fiolhais, M. e Ruivo, M. C (1996), mencionada acima a respeito das linhas e de banda espectrais, Nagaoka H., (1906) propõe um modelo atômico:

/.../ O sistema que eu vou discutir consiste em um grande número de partículas de massas iguais dispostas em um círculo em intervalos angulares iguais e repelindo-se mutuamente com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância; no centro do círculo, coloque uma partícula de grande massa atraindo as outras partículas de acordo com a mesma lei da força. Se essas partículas repelentes estiverem girando com quase a mesma velocidade sobre o centro atraente, o sistema permanecerá de forma geral, estável, para pequenos distúrbios, desde que a força atrativa seja suficientemente grande. O sistema difere do sistema Saturno considerado por Maxwell na qual tem partículas repelentes em vez de atrair satélites. O presente caso será evidentemente aproximado se substituíssemos esses satélites por elétrons negativos e o centro atraente por um... /.../ (Nagaoka H., 1906 – p.445. Tradução: nossa).

Podemos perceber que Nagaoka considerava o átomo como uma carga central positiva, rodeada por cargas negativas, massa iguais, igualmente espaçadas, dispostas em um círculo e repelidas de acordo com o quadrado da distância figura 10.

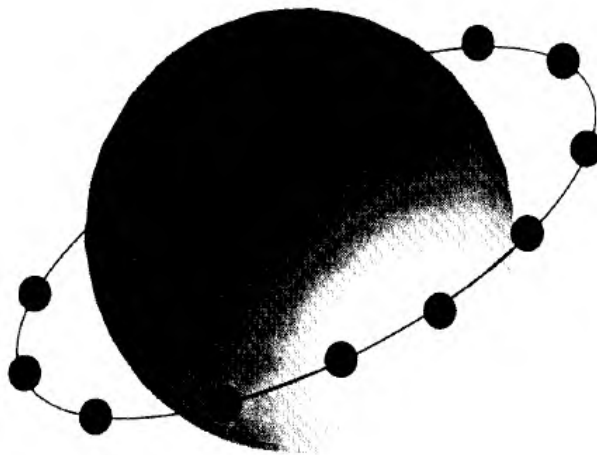


Figura 10: Modelo Saturniano de Nagaoka. Fonte: MODELO ATOMICO SATURIANO DE NAGAOKA (FIOLHAIS, M. e RUIVO, M. C. O 1996).

Note que ao mencionar Maxwell, Nagaoka possuía a noção de instabilidade atômica que só virá a se resolver com a mecânica quântica (FIOLHAIS, M. e RUIVO, M. C 1996). Mesmo assim, a contribuição de Nagaoka foi tão importante que foi reconhecida inclusive em um trabalho de Rutherford E., 1911 onde menciona ser interessante nota o trabalho de Nagaoka:

./.../ É interessante notar que Nagaoka considerou matematicamente as propriedades do átomo de Saturno, o qual ele supôs que deveria consistir em uma massa atrativa central cercada por anéis de elétrons rotativos.. ./.../ (Rutherford E., 1911. - p.688)*

Considerações finais desse modelo. Diferente das analogias propostas até agora, como bola de bilhar ou pudim de passas mencionadas nos cientistas anteriores, nesse caso a analogia “Modelo Saturiano” foi proposta pelo próprio autor, como mencionada em seu próprio trabalho e em outros artigos. Outra questão importante, diferente do átomo de Thomson que a carga positiva e negativa se encontram juntas, no modelo de Nagaoka ocorre o desacoplamento.

4.5. O Modelo de Rutherford

4.5.1. Ernest Rutherford

Ernest Rutherford (figura 11) nasceu em Nelson, Nova Zelândia em 1871 falecendo em Cambridge, Inglaterra em 1937, foi um físico e químico. Veio de uma família pobre e numerosa e foi casado com Mary Newton com teve sua única filha Eileen Mary (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014) (LOPES, C. V. M. 2009).

Ingressa na Universidade Canterbury College em Christchurch no ano de 1889, onde faz graduação e pós-graduação. Suas primeiras pesquisas foram com magnetização de ferro sob descargas de alta frequência. Em 1895 recebe uma bolsa para estudos no Canadá, precisou pedir dinheiro emprestado para a passagem. Sua viagem tinha destino para Cavendish onde trabalhará com Thomson. Nesse ano muda suas

pesquisas para o campo da radioatividade em função da descoberta dos raios x Wilhelm Röntgen e da radioatividade por Henri Becquerel (LOPES, C. V. M. 2009).

Em recomendação de Thomson, Rutherford vai para Universidade McGill no Canadá, em 1898, para desenvolver pesquisas com o químico Frederck Soddy na área de radioatividade. Trabalhos com o qual conseguem o Prêmio Nobel de química em 1908 (LOPES, C. V. M. 2009).

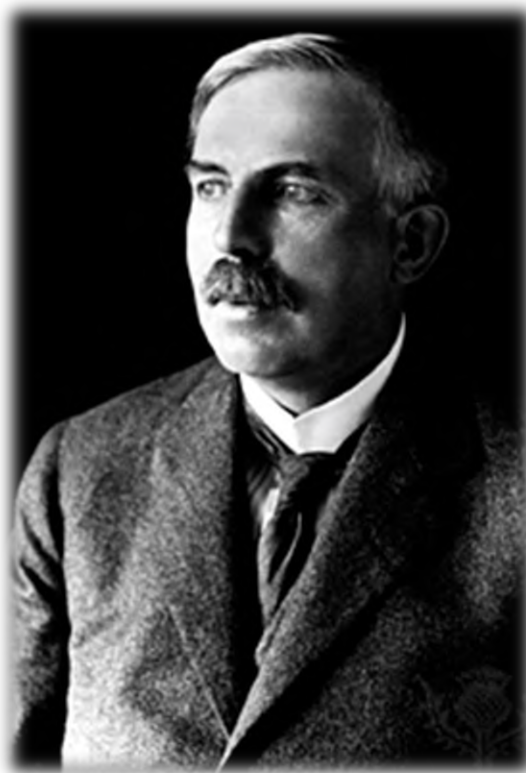


Figura 11: Ernest Rutherford (1871 – 1937). Fonte: <https://media1.britannica.com/eb-media/49/68949-004-41D8A9BE.jpg>. Acesso 15/12/2017 às 18:03..

Rutherford pede o afastamento da universidade de McGill, um ano antes de receber o Prêmio Nobel, voltando para Inglaterra assumindo o Laboratório de física de Manchester onde continua seus estudos de radioatividade, contexto que permitirá propor seu modelo atômico em 1911 (LOPES, C. V. M. 2009)

4.5.2. Por que ele Propôs esse Modelo?

Geiger e Marsden realizaram experimentos utilizando diversos metais, com espessuras variáveis afim de contabilizar a quantidade de partículas alfas que eram refletidas. Em 1910 publicam um artigo, descrevendo o experimento de forma detalhada com a folha de ouro (metal mais testado) e apresentaram os resultados obtidos. Em 1911 (Rutherford E., 1911) Rutherford usaria dessas contribuições para propor seu modelo atômico (LOPES, C. V. M. e MARTINS, R. A. 2009).

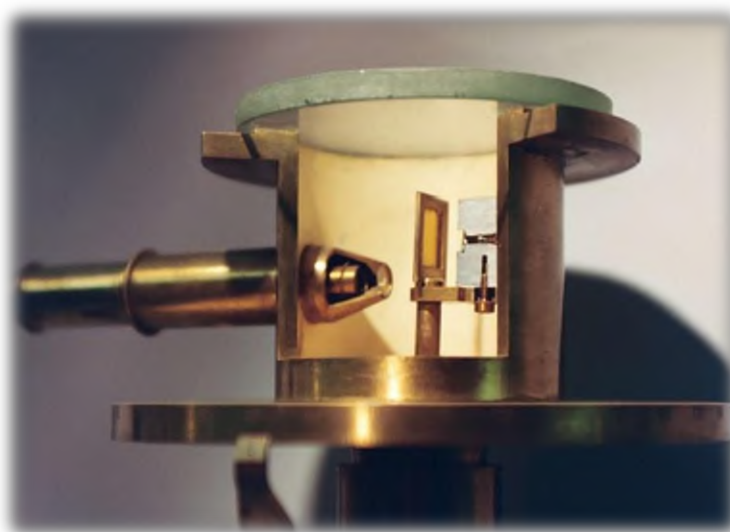


Figura 12: Experimento de Geiger e Marsden. Fonte: AS INVESTIGAÇÕES DE ERNEST RUTHERFORD SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA. (MARQUES, D.M. 2006).

De acordo com MARQUES, D.M. (2006) o real experimento utilizado por Geiger e Marsden (figura 12) que seria utilizado mais tarde por Rutherford, diferenciando dos materiais didáticos, que trazem um detector em torno de toda folha de ouro figura 13 (SANTOS, W. L. P. MÓL, G.S. MATSUNAGA, R. T et. Al. 2005), o experimento era quase todo fechado, com detector móvel e precisava ser ajustado no ângulo que gostariam de observarem os desvios (MARQUES, D.M. 2006).

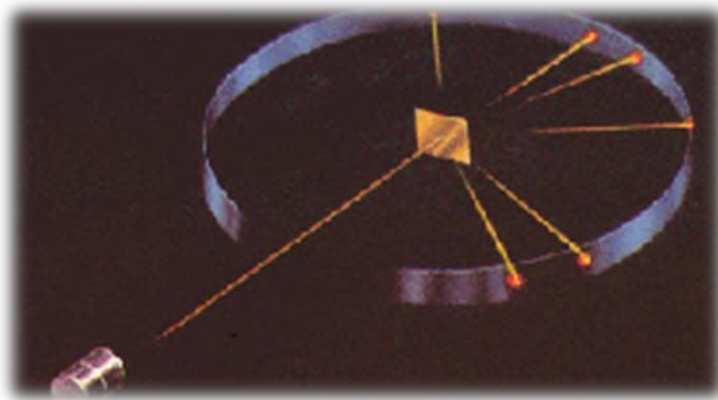


Figura 13: Experimento didático de Rutherford. Fonte https://www.algosobre.com.br/images/stories/fisica/mod_rutherford.gif. Acesso 15/12/2017 às 18:04.

Rutherford preocupado em explicar os resultados de Geiger e Marsden propõe um modelo atômico composto por um núcleo de carga $+Ze$, em uma esfera de raio a com elétrons ao redor. Esse raio teria uma ordem de grandeza de 10^4 vezes menor que o raio atômico atual. Assim o núcleo é responsável por desviar partícula que passem suficientemente perto dele afim de perceber a força de repulsão (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

4.5.3. O Modelo Atômico de Rutherford

O experimento utilizado por Rutherford (figura 12) consistia em uma folha de ouro, da qual era bombardeada com partícula α com uma tela detectora. Assim era possível perceber se as partículas alfas atravessavam a folha de ouro e sofriam desvios ou não (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).

Ao realizar o experimento de acordo Peruzzo, J., Pottker W. E. e Prado, T. G. (2014) Rutherford notou:

- A maioria das partículas α passavam sem desviar;
- Uma pequena parte de α sofriam um pequeno desvio;
- A cada 20.000 partículas α , uma não atravessava o anteparo e voltava;

Assim, Rutherford propõe seu modelo em 1911, onde considerou que o átomo não podia ser apenas uma massa esférica com carga positiva uniforme e elétrons grudados a ela, como ilustrou Thomson, mas sim possuir um vazio, como já previsto por Nagaoka. O modelo consistia em um pequeno núcleo positivo, pois poucas partículas voltam e algumas desviam. Em função da maioria atravessarem a folha de ouro, Rutherford considera que o átomo possui um grande vazio com cargas negativas movimentando em orbitas circulares em torno do núcleo de modo que a força centrífuga compense a força de atração exercida pelo núcleo (figura 14) (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).

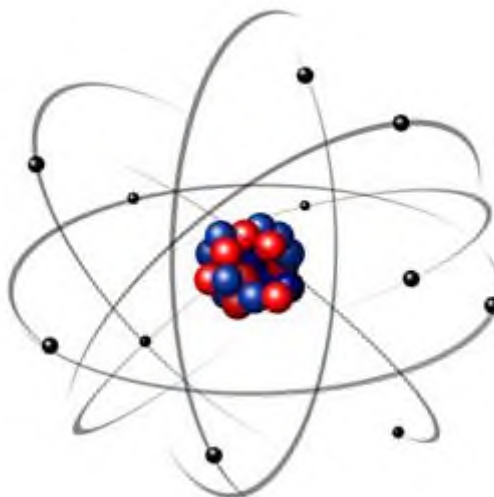


Figura 14: Modelo atômico de Rutherford. Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/modelo-atomico.jpg>. Acesso 15/12/2017 às 18:05.

A escolha da carga positiva ou negativa para o núcleo em nada influencia seu trabalho, acaba que fica perceptível o motivo pelo qual Rutherford adota o sinal positivo para o núcleo. É mais fácil partir da premissa que as partículas eram aceleradas adquirindo altas velocidades devido a repulsão do campo elétrico do núcleo, em vez de considerar que elas já movimentavam rapidamente no núcleo (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Mas independente de como considerar o sinal da carga do núcleo, o problema de instabilidade ainda persiste.

4.6. O Modelo de Bohr

4.6.1. Niels Bohr

Niels Bohr (figura 15) nasceu em Copenhague, Dinamarca em 1885 falecendo no mesmo local em 1962. Seu primeiro trabalho científico foi em determinar a tensão superficial da água, sendo gratificado com uma medalha de ouro da Academia de Ciências. Graduiu-se em física pela Universidade de Copenhague, concluído mestrado em 1909 e doutorado em 1911. Dedicou-se seus estudos em teoria dos elétrons e propriedades física dos metais (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014) (LOPES, C. V. M. 2009).



Figura 15: Niels Bohr (1885 – 1962). Fonte: <https://media1.britannica.com/eb-media/14/21114-004-FA0334F4.jpg>. Acesso 15/12/2017 às 18:39.

Encontra problemas em seus trabalhos com elétrons, um problema qualitativo com a eletrodinâmica clássica, aderindo a teoria quântica de Planck como um dos caminhos de resolução (LOPES, C. V. M. 2009).

Com o termino do seu doutorado, Bohr parte para trabalhar com Thomson no laboratório Cavendish em Cambridge – Inglaterra. Bohr era admirado com o trabalho de Thomson, em seu primeiro encontro levou sua Tese de doutorado para Thomson olhar,

e um artigo publicado por Thomson sobre teoria de elétrons nos metais, e apontou os erros cometidos por Thomson. Acreditem que Thomson nunca leu a tese de Bohr e esse tenha sido o motivo por não terem possuído uma relação afetuosa por parte de Thomson. Apesar disso Bohr inicia seus trabalhos em tubos de descargas de raio catódico no laboratório de Cavendish (LOPES, C. V. M. 2009).

Em Manchester – 1911, Bohr se torna grande amigo de Rutherford, e quando Rutherford voltava do primeiro congresso de Solvay. Nesse cenário Bohr aprofunda seus estudos, e compreendendo o modelo atômico de Rutherford, publica um artigo em 1913 propondo um modelo atômico não mais clássico. Em 1922 Bohr recebe o Prêmio Nobel pela investigação do comportamento dos átomos e a radiação produzida por eles (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014) (LOPES, C. V. M. 2009).

4.6.2. Por que ele Propôs esse Modelo

Considerado o autor de um dos mais importantes trabalhos publicados no século XX a respeito da teoria atômica, mais específico no ano de 1913 (PARENTE F. A. G. 2013) (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Tal importância se dá pelo fato de Bohr encontrar-se submerso em uma época de grandes avanços na física quântica que seria o caminho para resolver questões que a clássicas desconhecia. Desconfiado que a quântica conseguiria explicar o átomo, e resolveria alguns problemas em modelos anteriores, assim propõe a quantizando do momento angular do elétron em um átomo de hidrogênio (PEIXOTO, E. M. A., 1977).

4.6.3. O Modelo Atômico de Bohr

Bohr propõe que o átomo é formado por uma massa central e uma eletrosfera, como Rutherford, a diferença se encontra quando Bohr propõe que existe camadas e são quantizadas, assim os elétrons não teriam uma única camada, e só poderia ocupar camadas definidas. (figura 16) (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).

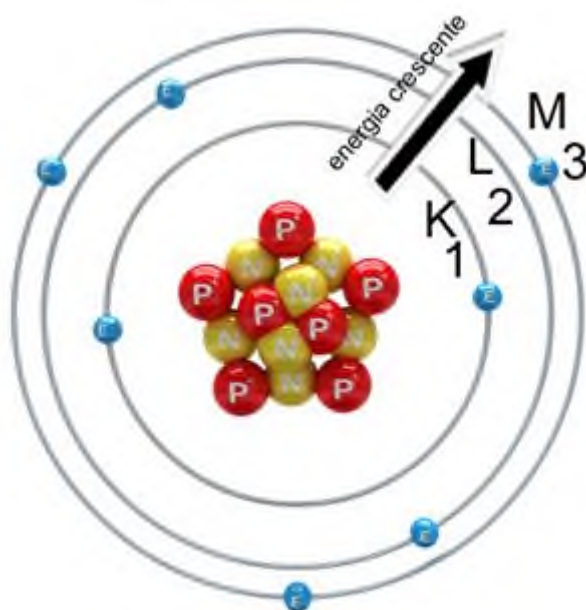


Figura 16: Modelo atômico de Bohr, no núcleo encontra-se os prótons (P), os nêutrons (N), os elétrons (E) estão na eletrosfera que só podem estar em camadas definidas, como a K, L, M que foram representadas na figura, mas existem infinitas camadas. Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo/images/modelo-atomico.jpg>. Acesso: 18/12/2017 às 19:50.

Então vamos compreender como Bohr estima o raio, distância do elétron até os prótons, para o átomo de hidrogênio ou hélio ionizado, isto é, um único elétron. Utilizando a lei de Coulomb:

$$F = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad eq. 1$$

A única força atuante é a de Coulomb, portanto é a que faz o papel da força centrípeta, assim

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad eq. 2$$

$$L = m \cdot v \cdot r \quad eq. 3$$

De acordo com autor Peixoto, E. M. A., (1977), o momento angular seria quantizado como múltiplos da constante de Planck dividida por 2π ou \hbar .

$$m \cdot v \cdot r = n \frac{h}{2\pi} \quad eq. 4$$

Nesse momento Bohr dá a condição de semi-clássica para o átomo. Até a equação 4 Bohr utiliza ferramentas clássicas ao trabalhar a constante de Planck e a variável n introduzi recursos da mecânica quântica. A variável n determina a quantização das orbitas, para $n = 1$ encontramos a primeira orbita, pra $n = 2$ a segunda, e assim sucessivamente (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Ao combinarmos as equações 4 e 2 temos o enésimo raio de Bohr

$$r_n = \frac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi m Z e^2} \quad eq. 5$$

Peixoto, E. M. A., 1977, menciona que Bohr a princípio estimou o raio para o átomo de hidrogênio, ou seja, $n = 1$ e $Z = 1$, a partir de resultados experimentais percebeu que a massa não poderia ser a massa do elétron, e sim a massa reduzida, então:

$$m = \mu \quad eq. 6$$

$$\mu = \frac{m_{\text{eletron}} m_{\text{proton}}}{m_{\text{eletron}} + m_{\text{proton}}} \quad \text{eq. 7}$$

fazendo a seguinte consideração

$$a_o = \frac{\epsilon_o h^2}{\pi \mu e^2} \quad \text{eq. 8}$$

Calculando o a_o encontramos o valor de $5,29 \cdot 10^{-9} m$. Ainda de acordo com Peixoto, E. M. A., (1977), esse termo fica conhecido como o primeiro raio de Bohr, o estado fundamental do átomo de hidrogênio, ou seja, a distância que o elétron se encontra do próton e ambos orbitam o centro de massa. Assim a equação 5 pode ser reescrita como:

$$r_n = \frac{n^2}{Z} \cdot a_o \quad \text{eq. 9}$$

Hoje sabemos que o valor estimado para a_o realmente corresponde a distância entre o núcleo e o elétron no estado fundamental do átomo de hidrogênio. Vamos compreender como Bohr fez para entender a energia. Segundo Bohr a energia total do sistema seria a cinética mais potencial (PEIXOTO, E. M. A., 1977)

$$E = T + V \quad \text{eq. 10}$$

$$T = \frac{1}{2} \mu v^2 \quad \text{eq. 11}$$

$$T = \frac{p^2}{2\mu} \quad \text{eq. 12}$$

onde p é o momento linear, pela equação 4 e 9 encontramos

$$T = \frac{Z^2 e^2}{2n^2 a_0} \quad eq. 13$$

para encontrarmos a energia potencial, vamos utilizar da equação 9

$$V = -\frac{Ze^2}{r} \quad eq. 14$$

$$V = -\frac{Z^2 e^2}{n^2 a_0} \quad eq. 15$$

substituindo a equação 15 e 13, na equação 10

$$E_n = -\frac{1Z^2 e^2}{2n^2 a_0} \quad eq. 16$$

para o átomo de hidrogênio, ou seja, $Z=1$, temos

$$E_n = -\frac{e^2}{2n^2 a_0} \quad eq. 17$$

A tabela abaixo encontra-se alguns valores para os níveis de energia

N	Energia em Ev
1	-13,6
2	-3,4
3	-1,51
4	-0,85
5	-0,54
6	-0,38

Tabela 2: Valores para os níveis de energia do átomo de Bohr.

O valor dos níveis de energia confere com o experimental (PEIXOTO, E. M. A., 1977). De acordo com a tabela acima, podemos criar um diagrama esquemático (figura 17).

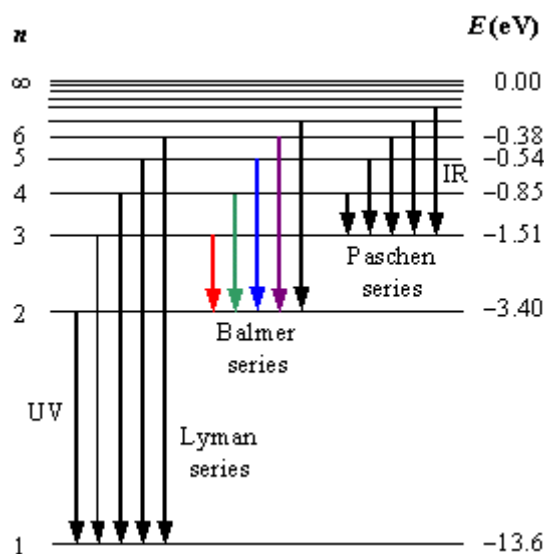


Figura 17: Diagrama de energia para as orbitas e as séries. Fonte: Adaptada de http://www.daviddarling.info/images/hydrogen_spectrum.gif. Acesso: 15/12/2017 às 19:19.

O diagrama da (figura 16) marca a correspondência da energia com a orbita. As séries estão relacionada com a transição que o elétron faz de em cada camada, assim é dividido em séries Lyman quando a transição possui energia com comprimento de onda do ultravioleta, de Balmer com comprimento de onda do visível e Paschen no infravermelho (NOVAES, M. E STURDART, N. 2016).

Esse é um grande momento no trabalho de Bohr, pois conseguimos compreender como funciona as transições eletrônica, ou seja, para retirarmos um elétron (no átomo de hidrogênio) da primeira cama, $n = 1$, para segunda cama, $n = 2$, precisamos fornecer 10,2 eV, menos que isso não ocorre a excitação. Nesse momento conseguimos compreender que os níveis atômicos são quantizados. Apesar de parecer perfeito, existe uma questão que não foi explicada, dentro das condições de Bohr, porque o elétron não se colapsa no núcleo?

4.7. O Modelo de Sommerfeld

4.7.1. Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld

Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (figura 18), nasceu em Königsberg, 1868 e faleceu em Munique 1951, ambas cidades alemãs. Um dos cientistas pioneiro na Mecânica Quântica. Concluiu graduação e pós-graduação na Universidade Königsberg estudando física e matemática. Em 1891 conclui seu doutorado pela Universidade Göttingen. Entre os anos de 1906 e 1931 ingressa como professor de física na Universidade de Munique. Teve alunos importantes no cenário da mecânica quântica, como: Pauli e Heisenger (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014).



Figura 18: Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868 – 1951). Fonte: http://learn-math.info/history/photos/Sommerfeld_5.jpeg. Acesso: 15/12/2017 às 21:31.

4.7.2. Por que ele Propôs esse Modelo?

De uma forma bem sucinta, o seu trabalho sobre átomo se deve à modernização a espectroscopia, quando perceberam que cada linha de espectro (figura 18), possuíam mais linhas se fosse analisada em uma escala inferior (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Isso quer dizer para uma camada, $n = 1$ por exemplo, teríamos subcamadas, então quando olhamos para o espectro de hidrogênio (figura19) é como se cada linha fosse a junção de outras linhas, assim teríamos as subcamadas.



Figura 19: Espectro visível de Hidrogênio. O espectro são as frequências emitidas nas transições eletrônica, ou seja, quando o elétron volta para camada mais estável. Nesse contexto, para o hidrogênio, existe na transição eletrônica do visível (série de Balmer) 4 frequências diferente que o pode emitir (NUSSENZVEIG, H. M., 2014). Fonte: <http://objetoseduacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/12612/imagens/fig04.jpg>. Acesso 05/11/2017. às 23:50

4.7.3. O Modelo Atômico de Sommerfeld

De acordo com o modelo de Bohr, cada elétron possuía um único número quântico, associado ao seu momento angular, devido as orbitas. Sommerfeld, em 1916, propõe as orbitas elípticas (figura 20), para que um elétron passa a possuir mais de um número quântico (subcamadas) assim as sublinhas estaria associada aos outros números quânticos (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

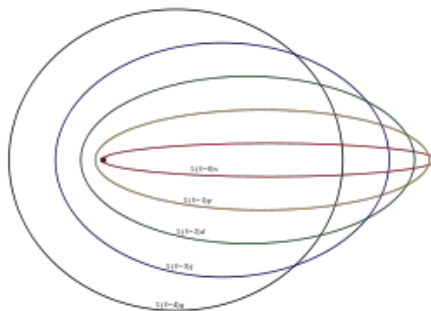


Figura 20: Modelo atômico de Sommerfeld. Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/75/Sommerfeld_ellipses.svg/250px-Sommerfeld_ellipses.svg.png. Acesso 06/11/2017 às 01:50

4.8. O Átomo e a Mecânica Quântica: Solução da Equação de Schrödinger para o Átomo de Hidrogênio.

4.8.1. Erwin Schrödinger

Erwin Schrödinger (figura 21) nasceu em Viena em 1887, e faleceu em 1951 em sua terra natal. Graduou-se em 1910 pela Universidade de Viena, em seguida passa lecionar na mesma. Durante a sua vida atuou-se em diversas faculdades como Stuttgart, Breshau, Zurique, Berlin, Oxford, Graz e Dublin (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014) (PUC. Acesso 16/12/2017).

Schrödinger em 1926 publica a teoria ondulatória da matéria, uma de terias mais importantes da mecânica quântica. Pelos seus trabalhos sobre mecânica ondulatória recebeu o Prêmio Nobel da Física, juntamente com Paul Dirac em 1933 (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014) (PUC. Acesso 16/12/2017).



Figura 21: Erwin Schrödinger (1887-1951). Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Erwin_Schr%C3%B6dinger_%281933%29.jpg. Acesso 16/12/2017 às 00:56.

4.8.2. A Mecânica Quântica e o Átomo

Se pedissem para dissertar de forma sucinta a diferença da mecânica quântica com a clássica, várias respostas seriam possíveis, de acordo com OSVALDO, P. J. (2003):

- a) Quântica, se associa aos “pacotinhos de energia” ou processos descontínuos, isto é, presença das quantidades discretas;
- b) Os fenômenos são de formas probabilística, assim, um mundo praticamente “indeterminista”;
- c) Alguns consideram que a essência da física quântica está no princípio da incerteza, ou seja, momento e posição não podem mais ser determinados simultaneamente;
- d) Essa teoria, é essencial não separar o observador do objeto;
- e) Um pouco mais fantasiosa, está o paradoxo do “gato de Schrödinger”, fazendo analogia ao princípio de superposição de estados
- f) Do ponto de vista matemático, as grandezas que não comutam, ou a importância dos números imaginários nos formalismos;
- g) Alguns acreditam que o mais peculiar é a constante de Planck, marcando a divisão da dimensão clássica com a quântica;

Todas as afirmações são apropriadas, mas para OSVALDO, P. J. (2003), de maneira essencial o que caracteriza a Teoria Quântica:

“/.../ ela é a teoria que atribui, para qualquer partícula individual, aspecto ondulatório, e para qualquer forma de radiação, aspectos corpusculares. Essa é uma versão “geral” da dualidade onda-partícula /.../”

Assim percebemos que uma partícula pode ser uma onda e o oposto também é válido. Esse será nosso ponto de partida para a compreensão do átomo sob o ponto de vista da mecânica quântica. Assim vamos entender o que é uma partícula e o que é uma onda, antes de unir as duas coisas. Vale ressaltar que essas definições são do ponto de vista clássico.

A partícula é uma bolinha bem pequena e indivisível. Além disso possui coordenadas bem definidas, e com velocidade precisa. Que com o passar do tempo molda uma trajetória definida, interpretada como uma curva no espaço (OSVALDO, P. J. 2003).

A onda é uma perturbação no espaço que se propaga em um meio carregando energia, criando um movimento oscilatório das partículas no meio. Dizemos que as ondas são indivisíveis, em alguns casos, contínuas. Podemos perceber que uma onda não possui uma trajetória definida, apenas espalhadas pelo espaço sem um ponto definido. Todavia possui um fenômeno pertinente, a interferência (OSVALDO, P. J. 2003).

Interferência é a capacidade de sobreposição de duas ou mais ondas, podendo ser destrutiva ou construtiva, a depender de como seus vales e cristas se encontram. (NUSSENZVEIG, H. M., 2002).

Agora que sabemos o que é uma partícula e uma onda, vamos compreender como esses fenômenos foram identificados simultaneamente em elétrons.

Entre 1800 e 1803 Young havia feito um experimento em que observou os padrões de interferência e difração, evidenciando o caráter ondulatório da luz. O experimento consistia em duas fendas, por onde passava a luz e em um anteparo criava-se um padrão de interferência (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

Um experimento semelhante ao de Young foi criado por Tonomura em 1989 para observar o comportamento dos elétrons, as fendas e o anteparo continuaram lá, só que agora passaria elétrons pelas fendas e não luz (NUSSENZVEIG, H. M., 2014). De acordo com o autor as características observadas (figura 22) são:

- a) Os números de elétrons registrados são sempre inteiros;
- b) Os elétrons chegavam em uma posição x no anteparo distribuídos ao acaso, um a um, assim conseguíamos medir a probabilidade de uma única fenda aberta ou as duas;
- c) Com o acúmulo de contagens, percebiam franjas de interferências;
- d) Se fecharmos uma fenda, a intensidade pode aumentar ou diminuir;

Nessa passagem percebemos que os itens a e b, possui um comportamento de partícula, uma vez que ondas conseguimos detectar números não inteiros de comprimentos de onda. Como os elétrons chegam em um ponto um a um, conseguimos

medir a probabilidade, outra característica de partícula, uma onda não chegaria em um único ponto.

Os itens c e d corresponde ao comportamento ondulatório, uma vez que conseguimos perceber interferência em ondas, e se o elétron fosse de todo uma partícula, ao fecharmos uma fenda a intensidade certamente diminuiria, e nesse caso pode aumentar.

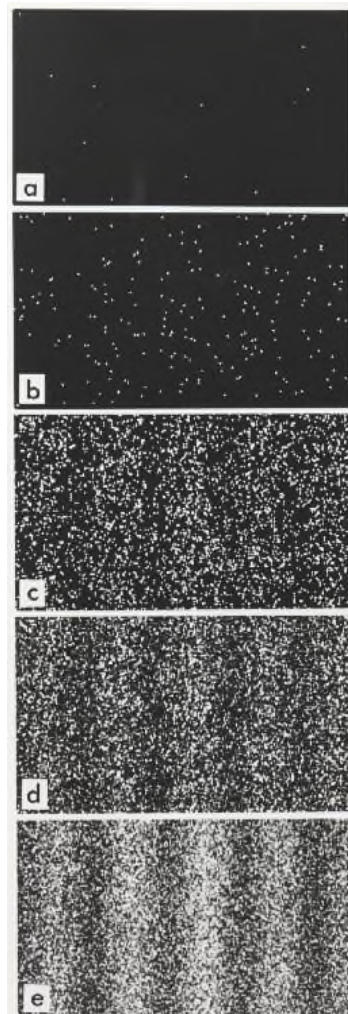


Figura 22: Experimento de Tonomura – 1989. Registrado em 5 tempos diferente, iniciando em a e finalizando em e. Podendo perceber a distribuição dos elétrons ao longo do tempo. Fonte: http://portal.discoverthecosmos.eu/files/previews/Double-slit_experiment_results_Tonomura_Preview.jpg Acesso 19 de novembro às 07:44.

Os pioneiros a reporta o comportamento ondulatório do elétron foram Clinton Davisson e Charles Kunsman em 1921 (o experimento consistia em reflexões de elétrons sobre superfícies metálicas, com um detector que recebiam os elétrons após a reflexão, onde detecta padrões de interferência) resultado importante para a construção

dos trabalhos de Louis de Broglie em 1925, contribuindo posterior para os trabalhos de Schrödinger em 1926 (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

L. de Broglie utilizou analogia ao trabalho Einstein, do qual propôs que uma onda eletromagnética plana monocromática, de frequência ν , estaria associada a um conjunto de partículas (fótons) que carregariam cada um, um quantum de energia E , sendo proporcional à radiação emitida $E = h\nu$ (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

A partir dessa teoria proposta por Einstein, L. de Broglie em 1925 associa que um conjunto de partículas livres de massa m e mesma velocidade, pode ter um comportamento ondulatório. Essa contribuição foi importante para Schrödinger em 1926 fazer a formulação da Mecânica Quântica ondulatória (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

Então de acordo com o que foi proposto por L. de Broglie, dizemos que um conjunto de partículas em um referencial próprio, no qual estão em repouso, a uma dada frequência, estariam em um processo periódico que é descrito pela função harmônica como na equação 18 (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

$$\Psi \sim \exp(-2\pi i\nu_o t_o) \quad eq. 18$$

Podemos reescrever essa função fazendo algumas manipulações:

$$p = \gamma mv \quad eq. 19$$

$$E = \gamma mc^2 \quad eq. 20$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad eq. 21$$

$$p = \hbar k \quad eq. 22$$

Onde $k = 2\pi/\lambda$, e a função de onda número pode ser reescrita como:

$$\Psi(x, t) \sim \exp [i(kx - \omega t)] \quad eq. 23$$

onde $\omega = 2\pi\nu$ ou E/\hbar

A equação acima é análoga a equação de onda da forma clássica, e foi proposta por Schrödinger no final de 1925. Da mesma forma que a equação de onda clássica relaciona derivadas com tempo e espaço a equação de Schrödinger também. A equação de Schrödinger (equação 24), não pode ser demonstrada da mesma forma que as leis de Newton também não (TIPLER, P.A. e R. A. LIEWELLYN, R. A 2001).

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\vec{r}) \right] \psi(\vec{r}) = E\psi(\vec{r}) \quad eq. 24$$

Nesse sentido, considerando que os elétrons podem comportar-se como onda e partícula, faz-se necessário escrever uma equação de onda para representar o seu movimento em torno do núcleo e então compreender o átomo do ponto de vista da mecânica quântica. O átomo de hidrogênio, um elétron e um próton é o modelo mais simples de átomo (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. 2014). Considerando que a energia total E para o átomo mencionado anteriormente é a soma da energia cinética com a potencial e essa última é devido a interação de Coulomb podemos escreve-la como (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016)

$$E = \frac{p^2}{2\mu} + \frac{L^2}{2\mu r^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad eq. 25$$

Vamos considerar que o referencial do próton se encontra em repouso, e o elétron está restrito em uma região do espaço, ou seja, não pode se afastar infinitamente, isso faz com que possíveis estados estacionários sejam quantizados. O estado de menor energia é chamado de estado fundamental, este por sua vez é o estado que se encontra mais próximo do núcleo, e a distância média entre o próton e o elétron é chamado de raio de Bohr (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

4.8.3. A Solução da Equação de Schrödinger para o Átomo de Hidrogênio

Para resolvermos o átomo de hidrogênio de acordo com o modelo de Bohr com a interpretação da mecânica quântica precisamos descrever o sistema em três coordenadas, (x, y, z), mas esse não é o melhor sistema para trabalhar com o átomo de

hidrogênio, portanto adotaremos o sistema de coordenada esférico, com $x = r \sin \theta \cos \phi$, $y = r \sin \theta \sin \phi$ e $z = r \cos \theta$ (ZETILLI, N 2009)

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{K}{r} \psi + \frac{1}{2\mu r^2} L^2 \psi = E \psi \quad eq. 26$$

com

$$K = \frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{r^2}{R^2} \frac{d^2 R}{dr^2} + r^2 E \quad eq. 27$$

O termo $\frac{1}{2\mu r^2} L^2$ é o potencial centrífugo, e nesse caso precisamos usar o valor total (x, y, z) do momento angular, assim $L^2 = L_x^2 + L_y^2 + L_z^2$ calculando as componentes nas direções do eixo e substituindo os momentos lineares pelas derivadas apropriadas encontramos (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

$$L^2 = \frac{\hbar^2}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} L_z^2 \quad eq. 28$$

Como a equação 26 possui soluções separáveis, e $\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\theta(\theta)\phi(\phi)$ (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016) se torna simples resolver e encontrarmos as relações abaixo:

$$L_z^2 \phi = m^2 \hbar^2 \phi \quad eq. 29$$

$$-\frac{1}{\sin \theta} \frac{d}{d\theta} \left(\sin \theta \frac{d\theta}{d\theta} \right) + \frac{m^2}{\sin^2 \theta} \theta = l(l+1)\theta \quad eq. 30$$

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{l(l+1)}{r^2} R - \frac{K}{r} R = ER \quad eq. 31$$

As constantes m e l são quantizadas, ou seja, só admitem soluções plausíveis para alguns valores e ambas precisam ser valores inteiros. A equação 29

representa a quantização do momento angular na direção do eixo z (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

A equação 31 chamamos de equação radial (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016). Para raios muito grandes, os dois últimos termos do primeiro lado da igualdade possuem valores muito pequeno, podendo ser desconsiderado, assim a solução para $r \gg 0$ é do tipo:

$$R(r) \sim e^{-Kr} \quad \text{eq. 32}$$

onde

$$K = \frac{\sqrt{-2mE}}{\hbar} \quad \text{eq. 33}$$

O valor de K é obtido através de estudos do momento angular, para mais detalhes consulte página 54 a 56 de Novaes, M. e Sturdart, N. (2016). Para raio muito pequenos a solução se torna $R(r) \sim r^{l+1}$, então a função R(r), pode ser escrita como combinação linear dessas duas soluções mais uma função f(r), como na equação abaixo (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

$$R(r) = r^{l+1} e^{-kr} f(r) \quad \text{eq. 34}$$

Ao fazermos isso conseguimos encontrar os valores para as energias

$$E_n = -\frac{K^2 \mu}{2\hbar^2 n^2} \quad \text{eq. 35}$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2\mu a^2 n^2} \quad \text{eq. 36}$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad \text{eq. 37}$$

onde n é um número inteiro positivo, a o raio de Bohr e E_1 é a energia do estado fundamental e vale -13,6 elétrons-Volts, ou seja, a energia necessária para ionizar um

átomo de hidrogênio. Os números n e l são chamados números quânticos, n o número quântico principal e l o número quântico azimutal. A função $f(r)$ mencionada anteriormente resulta em polinômios diferentes para cada par n com l , são os chamados polinômios de Laguerre (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

Quando um elétron faz uma transição eletrônica, ou seja, passa de um nível E_1 para um nível E_2 , a frequência do fóton emitida é dada por (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016):

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{2\pi\hbar} \quad \text{eq. 38}$$

Sabendo que $\nu = c/\lambda$, onde c é a velocidade da luz, temos a igualdade $E = 2\pi\hbar c/\lambda$, assim o comprimento de onda do fóton produzido está associado aos números quânticos principais n_1 e n_2 deve satisfazer a relação (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016)

$$\frac{1}{\lambda} = \mathcal{R} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{eq. 39}$$

onde \mathcal{R} é chamada de constante de Rydberg, com valor (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016):

$$\mathcal{R} = \frac{K^2\mu}{4\pi\hbar^3c} \quad \text{eq. 40}$$

Transições com $n_1 = 1$, estão no ultravioleta (série de Lyman), $n_2 = 2$ estão no visíveis (série de Balmer) e com $n_1 = 3$ estão no infravermelho (série de Paschen) (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

Não vamos entrar em detalhes, mas o produto $\theta(\theta)\Phi(\phi) = Y_{l,m}(\theta, \phi)$ são as funções conhecidas como harmônicos esféricos, essas funções são os orbitais (figura 23) (NOVAES, M. e STURDART, N. 2016).

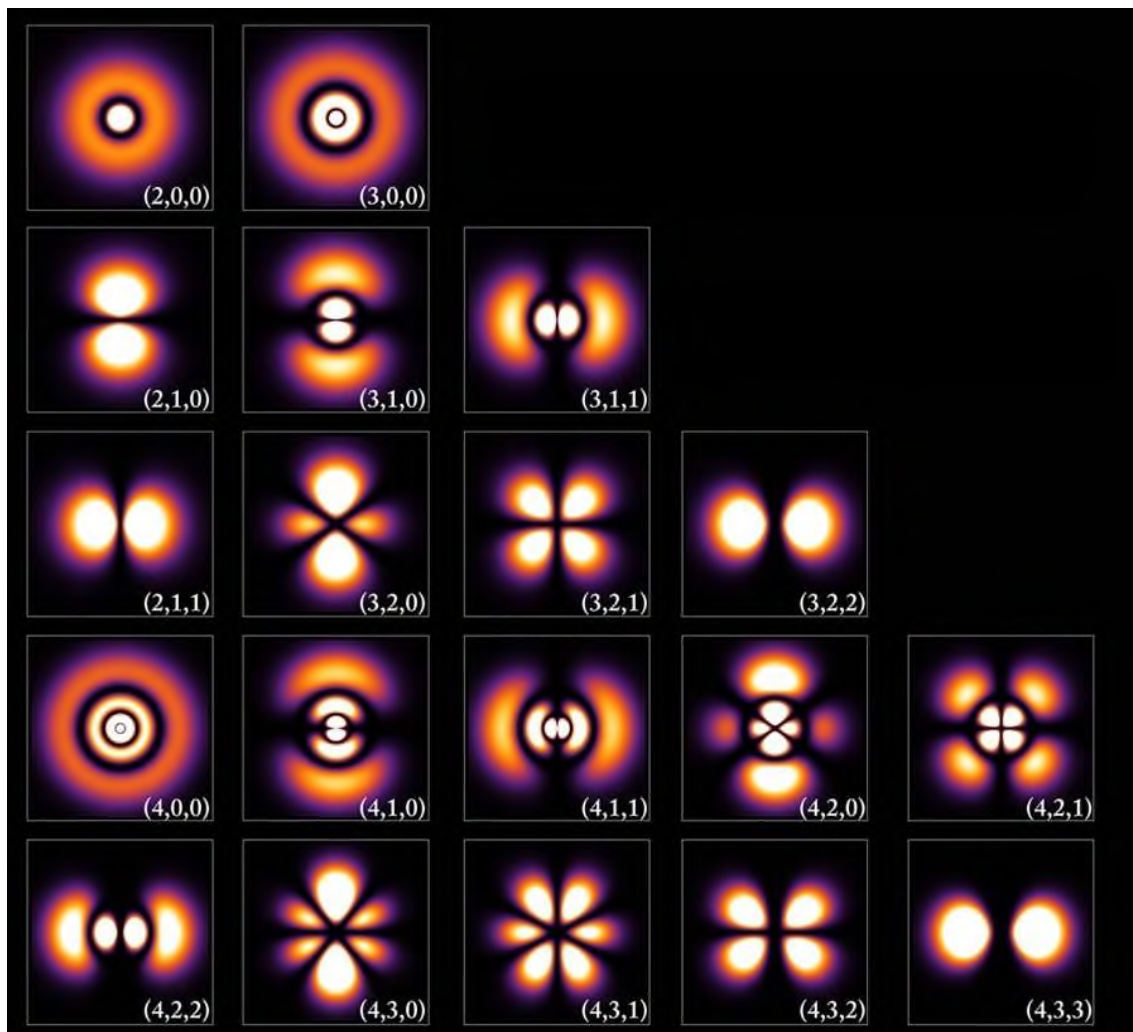


Figura 23: Orbitais para o átomo de Hidrogênio. Fonte: <http://www.astronoo.com/images/particules/atom-orbitals.jpg>. Acesso: 18/12/2017 às 12:24.

5. A História do Átomo em Exposição: a proposta piloto

O curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia possui uma disciplina “Projeto Integrado de Práticas Educativas 5 (Pipe 5)”, que tem como um dos objetivos a discussão de estratégia para o ensino de tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) na educação básica. Pensamos em estratégias para a inserção da FMC na escola básica, uma mostra da história do átomo seria uma possibilidade, pois no seu desfecho chegaria no átomo pelo ponto de vista da mecânica quântica, podendo ser uma forma de contribuir com a discussão desse conteúdo, visto que

a mecânica quântica é bastante controversa quando discutida pelo público leigo, por causa da pseudociência (MARÇAL, D. 2014) (FIGUEIREDO, J. M. L. 2005).

A ideia começou em PIPE 5, que dividiu a sala em grupos e propôs temas relacionado a física moderna. Cada grupo precisava selecionar um tema para propor uma mostra, as mostras seriam apresentadas em uma manhã de sábado na Universidade Federal de Uberlândia, campus Santa Mônica, no bloco 5S.

O meu grupo na verdade era uma dupla, eu e o Denilson. Denilson é um aluno que cursa Física Licenciatura na Universidade Federal de Uberlândia e realizava a disciplina no momento. A escolha do tema partiu dele, assim escolhemos o tema, a física moderna por trás do Átomo.

A professora Silvia Martins dos Santos, responsável pela disciplina no ano de 2016, nos enviou algumas bibliografias para estudos.

Analisando as bibliografias com calma, percebemos que todas se tratavam de espectros de hidrogênio, raio de Bohr ou orbitais, estando de acordo com o tema da disciplina, mas o nosso grupo sentiu falta da contextualização e um pouco da parte histórica. Assim fomos atrás de bibliografias complementares para resgatar um pouco da história e característica dos criadores de cada modelo para que os visitantes pudessem ter contato com o contexto dos criadores, para se situar da época, trabalho desenvolvido, os principais legados deixados...

No ano de 2015 a SeFis, Semana da Física da Universidade Federal de Uberlândia, organizada pelo instituto de física, recebeu um palestrante que ministrou na área de História da Ciência sobre Rutherford, esse por sua vez fez considerações a respeito dos materiais didáticos não fazerem uma abordagem completa de átomo. Alguns materiais conteriam concepções errôneas e outras incompletas.

Nesse cenário sentimos a necessidade de uma comparação de bibliografias (Dalton J. 1808), (MARQUES, D.M. 2006), (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006), (ZETILLI, N. 2009) mais específicas dos assuntos com alguns materiais didáticos (PERUZZO, T. M. CANTO, E. L. 1996), (SANTOS, W. L. P. MÓL, G.S. MATSUNAGA, R. T et. Al. 2005), (ABRIL, 2014), assim estaríamos tirando nossas próprias conclusões a respeito das considerações feita pelo palestrante.

Ao desenvolvermos essa comparação percebemos que de fato os materiais didáticos possuíam sim algumas concepções errôneas e outras muito sucintas. Assim percebemos que de fato além de uma mostra de átomo voltada para física moderna,

poderia ser relevante está ilustrando modelos anteriores, combatendo parte dessas concepções e estendendo um pouco mais as discussões relacionada com os modelos.

Selecionamos os modelos que gostaríamos de trabalhar: Dalton, Thomson, Rutherford, Nagaoka, Bohr, Sommerfeld e a mecânica quântica. Assim pensamos e alguns itens para compor as bancadas acompanhados de alguns referencias teóricos, foram eles:

- F. Porta-retratos trazendo a foto e as principais informações dos cientistas (LOPES, C. V. M. 2009);
- G. Artigos envelhecidos (NAGAOKA, H, 1904) (RUTHERFORD, E, 1911) (DALTON, J, 1808);
- H. Maquetes dos experimentos, quando existissem (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006) (MARQUES, D.M, 2006);
- I. Maquetes representando os modelos (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006);
- J. Banners com algumas informações complementares (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006);

Os porta-retratos eram para o público se familiarizar com o cientista, contextualizando suas contribuições para história. Continuam fotos, naturalidade, principais prêmios que receberam, instituições que frequentaram...

Tentamos encontrar os artigos de alguns cientistas que ajudam a compreender os modelos e os originais de cada cientista que propôs o seu modelo, para que o público pudesse ter acesso aos trabalhos completos, de como se desenvolveu e foi pensado o modelo pelo autor. Os artigos foram impressos mantendo a originalidade da revista ou do livro que havia sido feito o recorte, em seguida envelhecemos eles acreditando deixa-los mais chamativos.

A maquete do experimento ilustramos com o objetivo dos visitantes entenderem onde os cientistas sustentaram as suas hipóteses.

As maquetes dos modelos serviram para estarem ilustrando o que cada cientista propunha de átomo, além de ser uma formada que encontramos para estarmos decorando o local.

Os banners foram só para complementar a exposição, como imagem e provocações das concepções errôneas para que possamos estar discutindo com quem nos visitava.

Os modelos de Nagaoka e Sommerfeld não conseguimos trabalhar na mostra, devido à escassez de tempo, todavia durante a apresentação todo momento oportuno perguntávamos sobre os modelos.

5.1. Bancada 1: Modelo de Dalton

A primeira bancada, figura 24A, estão os objetos que permitem discutirmos o modelo de Dalton. Construímos 10 átomos em biscoito mapeados pelo Dalton, para que tivesse uma maior interação com o público do que somente as imagens, em papel envelhecido estão o mapeamento de 20 átomos (DALTON J. 1808).

Contamos com o porta retrato, com a foto e bibliografia, para familiarizar o os visitantes com o cientista (VIANA 2007) (e biografia. Acesso 2016). Além de banners com informações complementares (BRAGA, M., GUERRA A. e REIS J. C. 2011).

A interação do público ao passar por essa bancada mostrou que os objetos permitiram uma visualização mais completa do modelo apresentado e permitiu um olhar mais crítico para os livros didáticos, tanto em relação à profundidade do trabalho do Dalton, como pode ser observado no comentário de um dos visitantes:

“Não sabia que Dalton mapeou alguns átomos, e já possuía a noção de relação de tamanho entre um e outro” (visitante 1).

Além disso, houve também surpresas por parte do público a respeito do nome “bola de bilhar”, usado como analogia para esse modelo em livros de ensino médio (PERUZZO, T. M. CANTO, E. L. 1996). A exposição discute o fato de que esse nome não foi criado por Dalton (DALTON, J. 1808), como foi destacado pelo visitante 2:

“Pensei que quando ele propôs o seu modelo ele mesmo já propôs a analogia para o público mais leigo” (visitante 2).

Tivemos também sugestões para futuras ampliações da exposição, feitas por um professor de química que participou da visita:

“Poderiam citar Boyle, pois as definições de Dalton já haviam sido propostas por Boyle.”

Como essa sugestão já estava sendo considerada para trabalhos futuros, consideramos que esse comentário serviu para mostrar que esse é o caminho para o enriquecimento do trabalho e esclarecimento científico.

5.2. Bancada 2: Modelo de Thomson

A segunda bancada estavam os objetos referente ao modelo de Thomson, figura 24B, representamos o experimento tubo de raios catódicos montado pelo Thomson, por meio de uma maquete (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006). Durante a exposição, o público pareceu bastante familiarizado com este experimento. Acreditamos que seja por meio dos livros didáticos.

Durante a interação com o público, as relações de analogia preparadas para esse modelo (Modelo de “Pudim de Passas”) (ABRIL, 2014) foram bastante comentadas pelo público. Além disso, questões relacionadas à presença dos formalismos matemáticos (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006) foram destacados e essa bancada permitiu o contato de conceitos novos acerca desse modelo e permitiu desmistificar a visão do público a respeito do mesmo, como pode ser percebido nos relatos dos visitantes:

“Não sabia que possuía cargas no interior do modelo atômico proposto por Thomson, e que para esse modelo não poderia existir um átomo com um único elétron e isso é confirmado por métodos matemáticos”
(visitante 3).

“Então, não faz sentido falar que é um pudim de passas, pois, no seu interior possui carga, e no interior de um pudim não possui passas. Panetone também está equivocado, pois não existe panetone redondo”
(visitante 4).

5.3. Bancada 3: Modelo de Rutherford

A terceira bancada apresentou o modelo de Rutherford. Para a organização dos artefatos referente a esta bancada, figura 24C, construímos uma maquete ilustrando o experimento didático do espalhamento de partículas alfas de Rutherford.

O experimento ilustrado pelos livros didáticos (SANTOS, W. L. P. MÓL, G.S. MATSUNAGA, R. T et. Al. 2005) não foi o experimento realizado pelo Rutherford (MARQUES, D.M. 2006) causando uma dúvida como podemos observar no comentário do visitante 6:

“Quem fez esse experimento então? E como foi o experimento de Rutherford?” (visitante 5).

Desse modo, percebemos que as interações do público com essa bancada, permitiram a discussão de concepções alternativas sobre a realização desse experimento, evidenciando as ideias construídas pelas formas simplificadas dos livros didáticos e, dessa forma, reforçando a importância da exposição.

5.4. Bancada 4: Modelo de Bohr e Schrödinger

Na parte final encontra-se o modelo de Bohr junto com Schrödinger (figura 24D), construímos uma maquete representando o átomo de Bohr, em biscuit montamos os orbitais descritos pela função de onda de Schrödinger. Uma breve bibliografia de Bohr foi exposta em um porta-retrato. A forma matemática do modelo foi representada em um banner (ZETILLI, N. 2009) em outro banner encontra-se a distribuição de Linus Pauling.

Como já esperávamos, poucas pessoas sabiam que existiam modelos atômicos após Bohr, pois no currículo do ensino médio é esse o último átomo a ser apresentado, como ficou evidente após os comentários de muitos visitantes:

“Existe um modelo atômico pós Bohr ? “

Essa visão mostra a necessidade de ampliar a exposição, discutindo a teoria de Schrödinger e abrindo caminho para uma discussão sobre mecânica quântica.



Figura 24: A. Bancada 1 - Modelo de Dalton; B. Bancada 2 - Modelo de Thomson; C. Bancada 3 - Modelo de Rutherford; D. Bancada 4 - Modelo de Bohr e Schrödinger; E. Visão geral da exposição.

6. As Relações com o Público e Proposta de Reestruturação.

Esse trabalho teve início como uma proposta de desenvolver uma mostra de física moderna com o conteúdo de átomos, visando principalmente a mecânica quântica, todavia resolvemos buscar um pouco da história como um todo, criando bancadas para alguns cientistas que contribuíram para o desfecho que conhecemos atualmente a respeito de átomo.

A exposição construída para esse fim, foi apresentada ao público, em um evento de avaliação da disciplina de PIPE 6 em junho de 2016, que aconteceu na Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica onde recebeu a visita de professores, estudantes do ensino superior e ensino básico.

O evento ocorreu na manhã de um sábado, o público majoritário foi professores de Física, Química e Biologia do ensino básico, em uma quantidade menor professores dos institutos de Física e Química. Já os alunos do ensino médio e fundamental não chegaram a dez.

Durante a exposição, recebemos elogios e sugestões (figura 25), destacando a importância dessa mostra e o potencial para a divulgação da história do átomo para o público leigo. Assim, ainda em 2016, decidimos que seria interessante rerepresentar a exposição, com o objetivo de compreender melhor a relação com o público, buscando reestruturá-la para a construção de uma mostra de longa duração, no Museu Dica. Assim, decidimos inscrever essa exposição para participação no XII Brincando e Aprendendo.



Figura 25: Discussão do modelo de Thomson com o Professor.

O Brincando e Aprendendo é um evento organizado pelo museu DICA anualmente no mês de outubro com parceria da prefeitura de Uberlândia e da Semana Nacional de Ciências e Tecnologia, com intuito de fazer divulgação científica de um modo interativo e divertido para os alunos de Uberlândia e região principalmente, mas se estende a todos que queira participar. O evento recebe mais de dois mil estudantes de toda faixa etária.

Assim percebemos a necessidade de estudos mais aprofundado e transformar a mostra em uma exposição definitiva no Museu DICA, considerando as experiências da mostra piloto e buscando apoio na literatura.

Para a nova proposta da exposição, consideramos os três momentos para a criação de objeto museal proposto por Falcão, (2007): i. O contexto; ii. A Expectativa; iii. A Seleção dos Elementos.

O Contexto

Tivemos uma experiência muito positiva por parte dos alunos e dos profissionais na história da ciência que presenciaram a feira, onde tentamos buscar a abordagem de forma contemplativa e o mais próximo do original combatendo misticismo e ampliando a visão dos livros didáticos. Esse cenário serviu como uma motivação para o aprofundamento do trabalho.

A Expectativa

A exposição trabalha com um tema real e pouco aprofundado nos materiais de ensino médio, permitindo o contato com a física por trás de cada modelo, esperamos que construíssem uma ideia de que o assunto abordado em poucas páginas traz concepções errôneas, existindo uma abordagem mais ampla e real, não se restringindo apenas a química.

A Seleção dos Elementos

O terceiro e último momento proposto pelo autor é a seleção de elementos que compõe o modelo científico. No primeiro momento realizamos demonstrações via livros e objetos mais simples, percebemos que para a mostra se tornasse uma exposição de valor para o museu, os objetos deveriam ser propostos de forma estratégica, para

conseguirmos convencer o público e ao mesmo tempo representar a verdade por trás de cada momento da história em questão.

A figura 26 mostra a interação que algumas crianças tiveram durante a exposição. A foto foi tirada espontaneamente e conseguimos perceber pelo menos três telefones celulares registrando o cenário. A mostra continha muitos objetos, não muito comum no cotidiano, um cenário colorido, e muito papel envelhecido o que o deixou chamativo para esse primeiro contato.



Figura 26: Crianças do ensino fundamental registrando a mostra.

A seguir vamos discutir as interações e comentários dos visitantes, para cada uma das bancadas em cada evento, a partir dessas percepções estaremos levantando os pontos que nos levaram a reformulação da mostra. Analisaremos o contexto da exposição na disciplina, em seguida no Brincando e Aprendendo e finalizaremos com a proposta de reformulação. Para facilitar as discussões organizaremos em subtítulos para cada modelo.

6.1. O Público e o Modelo de Dalton: as ideias da bola de bilhar

6.1.1. Relação com o Público

Na primeira experiência da apresentação da mostra que aconteceu na Universidade Federal de Uberlândia em junho 2016 com o público que conseguimos interagir, notamos que os alunos do ensino médio quanto os professores do ensino básico possuíam uma visão do trabalho de Dalton de uma forma mais de ideias do que científica. O que levava a acharem que Dalton não tinha noção de diferentes elementos, com tamanhos e massas definidos (DALTON J. 1808). Podemos perceber pelo comentário do visitante 1, aluno do ensino médio.

“Não sabia que Dalton mapiou alguns átomos, e já possuía a noção de relação de tamanho entre um e outro” (visitante 1).

Ainda percebemos que a analogia bola de bilhar, sobrepunha ao termo modelo de Dalton. Muitos não lembravam das características do átomo proposto por Dalton ao ser citado com o seu nome, todavia ao mencionar bola de bilhar, o público se familiarizava.

Alguns alunos inclusive pensavam que a analogia foi proposta pelo próprio autor para trazer de uma forma mais simples para o público leigo (DALTON J. 1808), o que podemos perceber pelo comentário do visitante 2, aluno do ensino médio.

“Pensei que quando ele propôs o seu modelo ele mesmo já propôs a analogia para o público mais leigo” (visitante 2).

Podemos perceber que os visitantes trouxeram com eles algumas concepções errôneas. Podendo ser uma consequência de como as aulas são ministradas e as informações trazidas em alguns livros texto de apoio ao estudante (PERUZZO, T. M. CANTO, E. L. 1996). Então acreditamos que para uma melhor concepção por parte do estudante seria trabalhar com o eles uma visão mais completa (BRAGA, M., GUERRA A. e REIS J. C. 2011) evitando as analogias e só mencionando as conclusões (ABRIL, 2014), dando uma aparência de ideias ao trabalho de Dalton.

Até aqui percebemos que os alunos já possuíam um conhecimento prévio a respeito de átomos, e traziam com eles algumas concepções que divergiam do proposto pelo cientista.

Na segunda aplicação, no Brincando e Aprendendo em outubro de 2016 tivemos parte do público que já possuíam conhecimento prévios e outra que desconhecia a palavra átomo. Devido ao grande fluxo de alunos não conseguimos conversar separadamente com cada um, as discussões eram feitas de forma global em rodas, sendo levantada os pontos que nos interessava, a questão da analogia e o mapeamento dos átomos, em seguida deixávamos os alunos terem contato com a bancada de Dalton. As reações por quem já possuía conhecimento prévio foram similares aos visitantes na Universidade Federal de Uberlândia. Porém tivemos alguns que nunca ouviram falar de átomos, como será que esses comportaram durante a bancada de Dalton?

Antes dos alunos que desconheciam átomo tivessem contato com a exposição fizemos uma breve discussão com eles, e alguns levantamentos, como: se já ouviram falar, o que pensavam ser... As perguntas iam se moldando de acordo com as respostas até conseguíssemos chegar a um consenso de as coisas ao nosso redor são formadas por átomos (LAVOISIER, A. L., 1789, Tradução: Trindade, L. S. P., 2006) (STRATHERN, P., 1940, Tradução: Borges, M. L. X. A., 2002).

Em seguida tiveram acesso a bancada de Dalton, esses alunos ficaram admirados com a réplica de um manuscrito envelhecido sobre a bancada, inclusive alguns perguntaram como conseguimos um documento tão antigo, e se teriam problema em manuseá-lo. Nessa réplica possuía alguns elementos que Dalton havia representado por formas de símbolos, parte desses elementos foram representados em bolinhas de biscoito sobre a bancada. Os próprios alunos criaram uma interação entre do manuscrito com as bolinhas, ao ficarem procurando as bolinhas sobre a bancada com desenho semelhante ao do manuscrito como podemos ver na figura 27.



Figura 27: Alunos do fundamental interagindo com a bancada de Dalton.

A interação de procurar os átomos do manuscrito não ficou restrito apenas para o público infantil como podemos perceber na imagem 28.



Figura 28: Alunos do fundamental interagindo com a bancada de Dalton.

Neste contexto fizemos um levantamento das concepções, opiniões, discussões e sugestões para criarmos modificações na bancada de Dalton, que será discutido na seção 6.1.2.

6.1.2. Novas Ideias

A partir dos levantamentos na seção 6.1.1 criamos a tabela 3, perante as concepções do público ao interagir com o modelo de Dalton. Fizemos uma comparação dos resultados do público da mostra de PIPE 5, com os do Brincando e Aprendendo.

	O Modelo de Dalton. Percepções de Público	
	MOSTRA PIPE 5	BRINCANDO E APRENDENDO 2016
Analogia bola de bilhar	X	X
Diferença de representação de cada elemento	X	X
Considerar o modelo com caráter de ideias	X	X

Tabela 3: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha.

Essas percepções foram importantes para darmos seguimento ao trabalho, primeiro vemos que os alunos que disseram já ter contato com o modelo trazia várias concepções alternativas, então resolvemos trazer parte do livro de Dalton para perceberem que o trabalho não possuía um viés só de ideias e sim científico, assim os alunos tiveram um contato maior com o trabalho e proposta do cientista, inclusive perceber os estudos do calórico, calor e temperatura realizado por Dalton (DALTON J. 1808).

A capacidade de associar o desenho no papel ao objeto na bancada é uma ação que não exerce tanto esforço, sendo possível para a maioria do público. Nesse cenário sentimos falta de um número maior de elementos na bancada e representação dos elementos em escala para permitir uma maior interação e uma percepção mais verídica (figura 29). Pois aquele público totalmente leigo no assunto terão a noção de diferença de tamanhos entre um átomo de hidrogênio com o de carbono por exemplo, e para os estudantes ao ser trabalhado o modelo de Dalton, não precisaríamos combater concepções

alternativas futuramente, pelo contrário, quem teve a oportunidade de ter vivenciado pode estar levando para uma discussão no âmbito escolar.

Agora aquele público que já possui conhecimentos, podem estar usando a exposição para reformulação de conceitos ou uma complementação e admiração.



Figura 29: Maquete em escala dos elementos de acordo com modelo Atômico de Dalton.

6.2. O Modelo de Thomson: Pudim de Passas e a Estabilidade Atômica...

6.2.1. Relação com o Público

Quando o público se deparou com a bancada de Thomson no âmbito da Universidade Federal de Uberlândia percebemos três questões interessante abordadas pelos professores da educação básica dos alunos do ensino médio que já detinham um conhecimento prévio. A primeira da mesma forma que em Dalton com a questão de analogia, era comum as pessoas lembrar do modelo pelo nome pudim de passas (ABRIL, 2014), porém o nome de quem havia proposto era esquecido. Da mesma forma que argumentaram com o Dalton, diziam acreditar que essa analogia veio para facilitar a compreensão do público. No comentário do visitante 4 podemos perceber que a exposição cumpre com o papel de quebrar as concepções alternativa, onde o próprio visitante conseguiu argumentar a respeito da analogia com o que foi proposto da mostra.

“Então, não faz sentido falar que é um pudim de passas, pois, no seu interior possui carga, e no interior de um pudim não possui passas. Panetone também está equivocado, pois não existe panetone redondo”
(visitante 3, aluno do ensino médio).

Da mesma forma que em Dalton, acreditamos que essa concepção está relacionada com a forma de abordagem em sala de aula e os materiais didáticos voltado para o ingresso dos alunos na universidade (ABRIL, 2014), como o caso da analogia, além de não ser proposta por Thomson está incorreta, pois o átomo possui anéis concentricos e simetria (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006).

O segundo ponto a ser levantado se relaciona com o espanto do público ao se deparar com o formalismo matemática do modelo de Thomson (CARUSO, F. e OGURI, V. 2006), como podemos perceber na figura 30 a contemplação por parte de quem frequentava a exposição.

Já o terceiro e último momento está relacionada a questão de instabilidade atômica para o átomo com apenas um elétron. Não estava de forma explicita, mas

possuíamos um gráfico da trajetória do elétron que em uma discussão conseguimos discutir essa questão como é relatado pelo visitante 3.

“Não sabia que possuía cargas no interior do modelo atômico proposto por Thomson, e que para esse modelo não poderia existir um átomo com um único elétron e isso é confirmado por métodos matemáticos” (visitante 3, professor do ensino básico).



Figura 30: Professores de química observando o formalismo matemático por trás do modelo de Thomson.

Faremos agora as considerações da mostra no Brincando e Aprendendo 2016. Nesse evento não conseguimos fazer uma discussão a respeito da instabilidade atômica devido ao tempo que os estudantes passariam nos estandes, então o objetivo era saber as concepções dos alunos com conhecimentos prévios a respeito do termo pudim de passas (ABRIL, 2014) e a reação do público que desconhecia o modelo de Thomson.

Os alunos que já possuíam um conhecimento prévio reagiram semelhante aos alunos que frequentou a mostra na Universidade Federal de Uberlândia a respeito da analogia, não tivemos nenhuma manifestação que a analogia era incorreta. Já o público

que desconheciam totalmente o modelo, o que chamou a atenção foram as equações matemática (figura 31) e a vontade de manusear o “experimento”, pois na maquete do modelo de Thomson (figura 32) existiam alguns fios e eles achavam que de alguma forma estávamos fornecendo energia para a maquete.



Figura 31: Alunos do ensino fundamental fotografando os formalismos matemático manuscritos em um papel envelhecido do Modelo Thomson.

Neste contexto fizemos um levantamento das concepções, opiniões, discussões e sugestões para criarmos modificações na bancada de Thomson, que será discutido na seção 6.1.2.



Figura 32: Maquete ilustrando o experimento do tubo de raios catódicos.

6.2.2. Novas Ideias

A partir dos levantamentos na seção 6.2.1 criamos a tabela 4, perante as concepções do público ao interagir com o modelo de Thomson. Fizemos uma comparação dos resultados do público da mostra de PIPE 5, com os do Brincando e Aprendendo.

	O Modelo de Thomson. Percepções do Público	
	MOSTRA PIPE 5	BRINCANDO E APRENDENDO 2016
Analogia pudim de passas	X	X
Admiração nos artigos envelhecidos	X	X
Compreensão da instabilidade atômica	X	
Necessidade de interação		X

Tabela 4: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. Nesse caso os visitantes da mostra em PIPE 5 não manifestaram a necessidade de manipulação do tubo de raios catódico.

Nesse cenário acreditamos que trazer essa abordagem matemática, apesar de trabalhar com equações não vista no ensino básico, seja importante para explicitar que existe todo um trabalho até chegar aos estudantes a forma sucinta o conhecimento científico.

Como mencionado o pessoal gostaria de manipular a maquete do experimento de Thomson (figura 32). Ou seja, alterar a curvatura “do raio” no seu interior e infelizmente não era possível.

O experimento de carga/ massa (figura 33) do elétron é muito caro e conforme for manuseado pode causar dano irreversível. Nesse sentido seria inviável conseguir um para deixar na exposição, então pensamos em uma forma que a manipulação fosse possível e de forma segura. O experimento carga/massa já é disponibilizado remotamente pela plataforma NUTEC.



Figura 33: Experimento carga/massa do elétron. Fonte: A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA (Cardoso, D. C., 2016).

O NUTEC é um laboratório de ensino de física que visa a utilização de tecnologias digitais da informação e comunicação, com uma plataforma virtual colaborativo propagando o ensino-aprendizado. Essa plataforma hospeda o experimento de carga/ massa do elétron, com um conteúdo de apoio além de ser possível montar em um simulador o experimento (figura 34) e em um momento posterior podemos manipular o experimento real (figura 35) de forma remota (figura 36).

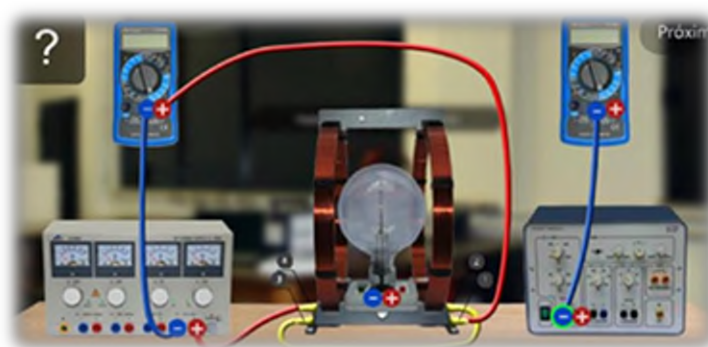


Figura 34: Montagem do experimento carga/massa do elétron na plataforma do NUTEC. Fonte: A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA (Cardoso, D. C., 2016).

A experimentação remota é quando adaptamos um experimento (figura 33) de forma que seja acessível a manipulação dele (figura 35) através de comandos recebido por uma plataforma virtual (figura 36). Conseguimos alterar todas as grandezas físicas do

experimento e observar simultaneamente o que acontece no mesmo como podemos ver na figura 36, de forma não danifica-lo. (CARDOSO, D. C., 2016).

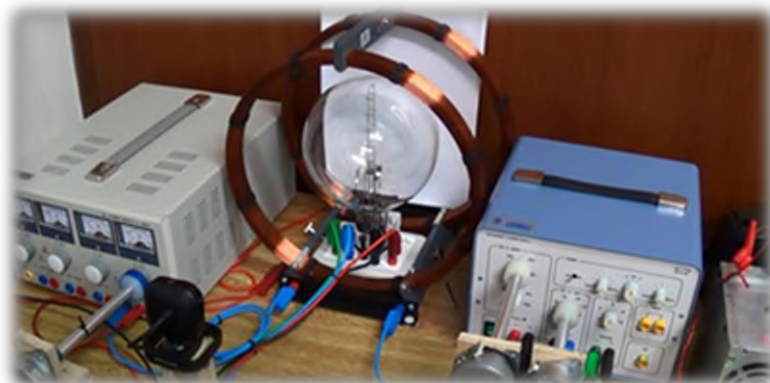


Figura 35: Experimento carga/massa do elétron adaptado para funcionar remotamente. Fonte: A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA (Cardoso, D. C., 2016).



Figura 36: Layout do painel que utilizamos para controlar o experimento da figura 35, a imagem ao lado direito dos objetos de medição (multímetros) é exatamente a resposta do experimento, assim como os números representados nos multímetros. Fonte: A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA (Cardoso, D. C., 2016).

Para uma melhor interação dos visitantes montamos uma nova maquete (figura 37), semelhante ao experimento carga/massa presente na plataforma do NUTEC junto com um código QR, que irá direcionar para o experimento remoto, assim as pessoas teriam acesso a plataforma onde seria possível manipular o experimento semelhante ao que a maquete ilustra, de forma segura e com o mesmo objetivo do experimento de Thomson.

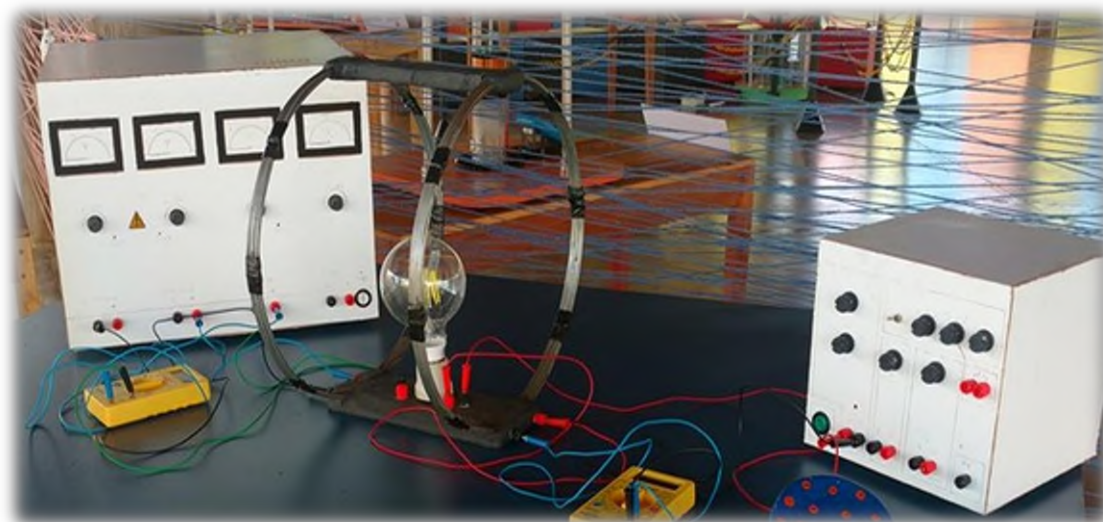


Figura 37: Maquete ilustrando o experimento carga/massa do elétron. Utilizando como referência o experimento que será encontrado na plataforma do NUTEC.

6.3. O Modelo de Rutherford: Experimento da Folha de Ouro e o Cientista Nagaoka...

6.3.1. Relação com o Público

Começaremos a analisar a bancada de Rutherford pela mostra apresentada na Universidade Federal de Uberlândia. Antes dessa bancada gostaríamos de ter colocado um outro modelo o Nagaoka, só que devido à escassez de tempo não foi possível. Porém os visitantes que nos permitiram a interação, conversamos se já havia ouvido falar no modelo de Nagaoka. Tanto aluno quanto alguns professores desconheciam.

Percebemos que os materiais didáticos (ABRIL, 2014) (FONSECA, M. R. M., 2013) não costumam trazer esse modelo, assim cria a ilusão da proposta que o átomo era vazio parte de Rutherford, porém Nagaoka já propunha o átomo vazio (FIOLHAIS, M. e RUIVO, M. C 1996) (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Como podemos perceber em Rutherford E., 1911:

/.../ É interessante notar que Nagaoka considerou matematicamente as propriedades do átomo de Saturno, o qual ele supôs que*

deveria consistir em uma massa atrativa central cercada por anéis de elétrons rotativos.. /.../

O que Rutherford fez, foi comprovar a hipótese de Nagaoka (Rutherford E., 1911).

Outra questão que discutimos foi a respeito do experimento de Rutherford, os materiais de didáticos (ABRIL, 2014)(Santos, W. L. P. MÓL, G.S. MATSUNAGA, R. T et. Al. 2005) ao mencionar o experimento de folha de ouro traz um esquema (figura 13) que ilude o leitor que o anteparo cobria todos os ângulos de reflexão, e não é isso que acontece, precisava posicionar o anteparo para ângulos exatos (MARQUES, D.M. 2006) como podemos ver a foto do experimento real (figura 12). Outra questão do experimento não abordada em livro didático (FONSECA, M. R. M., 2013) é que o experimento já havia sido feito por outros cientistas, no livro cita que Rutherford trabalhou com os cientistas Geiger e Marsden, mas não menciona que Geiger e Marsden foram os idealizadores do experimento (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006).

Quando levantamos essas questões do experimento, os alunos que frequentaram a mostra não tinham conhecimento das considerações que mencionamos no parágrafo anterior, como manifesta esse visitante do ensino médio:

“Quem fez esse experimento então? E como foi o experimento de Rutherford?” (visitante 5).

No Brincando e aprendendo gostaríamos de buscar qual o consentimento dos alunos que possuíam um conhecimento prévio de átomo a respeito do modelo de Nagaoka e a respeito do experimento de Rutherford, quem havia desenvolvido o experimento e como seria o experimento real. Percebemos que nenhum aluno manifesto ter pelo menos ouvido falar o nome Nagaoka, e a respeito da questão do experimento o comportamento se assimila com os alunos que frequentaram a Universidade Federal de Uberlândia.

6.3.2. Novas Ideias

A partir dos levantamentos na seção 6.3.1 criamos a tabela 5, perante as concepções do público ao interagir com o modelo de Rutherford. Fizemos uma comparação dos resultados do público da mostra de PIPE 5, com o do Brincando e Aprendendo.

	O Modelo de Rutherford e Nagaoka. Percepções do Público	
	MOSTRA PIPE 5	BRINCANDO E APRENDENDO 2016
Diferenciação do experimento real para o experimento didático de Rutherford	X	
Conhecimento do modelo de Nagaoka	X	

Tabela 5: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. Nessa tabela percebemos que o público do Brincando e Aprendendo não possuía conhecimento do modelo de Nagaoka e nem tinham noção do real experimento de Rutherford.

Nesse contexto inserimos o modelo de Nagaoka (figura 38) na exposição e reformulamos o experimento de Rutherford. Antes o experimento de didático de Rutherford possuía várias luzes no anteparo, acendendo todas juntas e apagando todas juntas. Agora utilizamos o arduíno para as luzes piscarem uma a uma, dando a impressão que fosse cada partícula alfa chegando no anteparo em um momento diferente. A quantidade de luzes que acendem na parte frontal do anteparo é menor (figura 39).

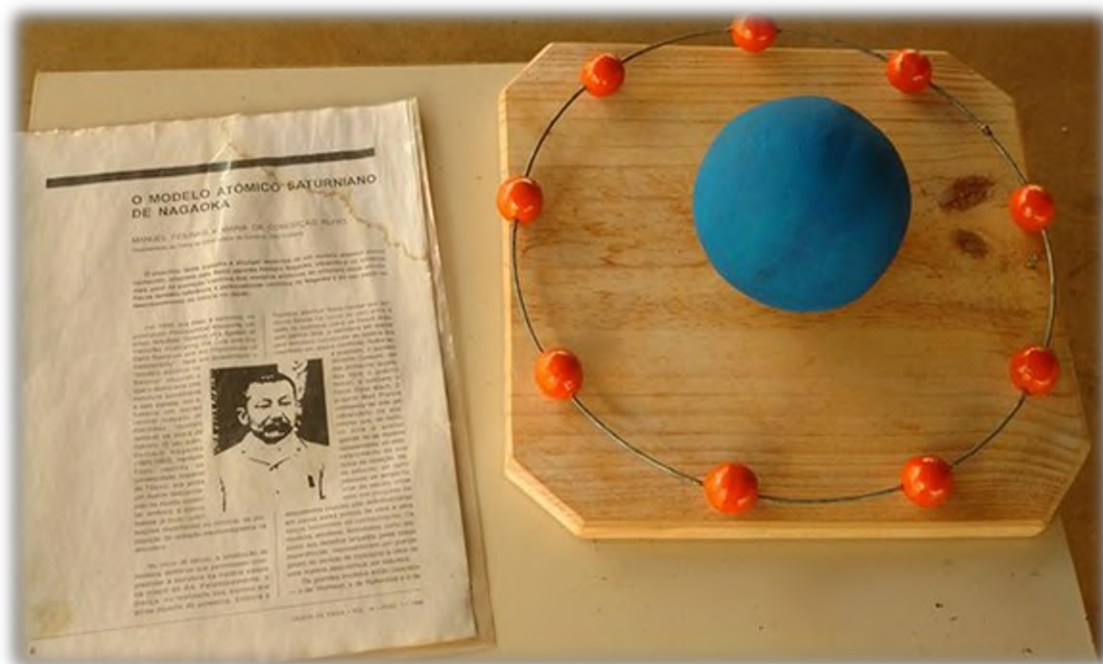


Figura 38: Modelo atômico de Nagaoka e um artigo contextualizando o modelo (esse artigo não é original de Nagaoka).

Representamos o experimento didático e não real, por não conseguirmos fazer a automação de forma que pudesse mover o anteparo. Mas a exposição definitiva contara com plaquinhas que levam essas provocações e um código QR que traz essas informações.



Figura 39: Processo de construção do experimento didático de Rutherford.

6.4. O Modelo de Bohr: Rumo a Interpretação pela Mecânica Quântica

6.4.1. Relação com o Público

Faremos a análise da Universidade Federal de Uberlândia e do Brincando e Aprendendo juntos, pois as percepções dos estudantes foram semelhantes. Não tivemos muita coisa nessa bancada, apenas maquete do modelo de Bohr e alguns orbitais. Mesmo assim chamou a atenção do público que desconhecia átomo (Figuras 40 e 41). Mas o objetivo era por meio de diálogos descobríssemos se os alunos possuíam alguma interpretação de átomo após Bohr.



Figura 40: Alunos do ensino fundamental filmando o modelo de Bohr.

Percebemos que os alunos do ensino superior do curso de licenciatura em física e em química que frequentou a mostra na Universidade Federal de Uberlândia tinha a consciência de que existia uma interpretação do ponto de vista quântico (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). Mas nenhum aluno do ensino médio tinha consigo que existia outra interpretação de átomo após Bohr.

Perguntamos a questão de estabilidade atômica, se o modelo de Bohr era o que explicava o átomo, como ele explicaria o elétron não chegar no núcleo? (CARUSO,

F. e OGURI, V, 2006) Os alunos não conseguiam argumentar absolutamente nada, pouco levantava hipótese, no sentido de que existia outra carga que compensava interação do próton com o elétron. Outros falaram que era por causa do nêutron. Mas nenhum propôs que existia outro modelo para estar fazendo essa compensação.

Percebemos que os futuros professores da educação básica, tem conhecimento da interpretação da mecânica quântica, porém não exploram.



Figura 41: Alunos do ensino fundamental fotografando o modelo de Bohr.

Pode ser que esteja relacionado com insegurança de levar uma discussão onde não é uma área de conforto, ou por não possuir um livro texto com uma transposição didática correta para o aluno do fundamental e médio ou até mesmo por questão de não conseguir cumprir o conteúdo.

As hipóteses são muitas, a certeza que temos é que os alunos não têm acesso a esse conhecimento, e hoje, a quântica está presente em quase todos os dispositivos que rodeiam esses alunos. Então sentimos que seria válido eles soubessem que essa interpretação existe, e que revolucionou a ciência (PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G, 2014).

6.4.2. Novas Ideias

A partir dos levantamentos na seção 6.4.1 criamos a tabela 6, perante as concepções do público ao interagir com o modelo de Bohr e os orbitais. Fizemos uma comparação dos resultados do público da mostra de PIPE 5, com os do Brincando e Aprendendo.

	O Modelo de Bohr e a Mecânica Quântica.	
	Percepções do Público	
	MOSTRA PIPE 5	BRINCANDO E APRENDENDO 2016
Interpretação de modelo atômico após o de Bohr	X	

Tabela 6: Levantamento das percepções do público da mostra em PIPE 5 com o Brincando e Aprendendo. A parte da tabela com um X indica que os participantes possuíam a concepção que é mencionado na mesma linha. Nessa tabela para o público do Brincando e Aprendendo tinha em mente que o último modelo proposto foi o de Bohr.

Nesse sentido expandimos as interpretações semi-clássica, não se restringindo apenas em Bohr mais também ao modelo de Sommerfeld, trouxemos cópias dos artigos originais de ambos cientistas (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006). E expandimos para interpretação do ponto de vista da mecânica quântica, resolvendo o átomo de hidrogênio e expondo os orbitais (Figura 42) (ZETILLI, N. 2009).

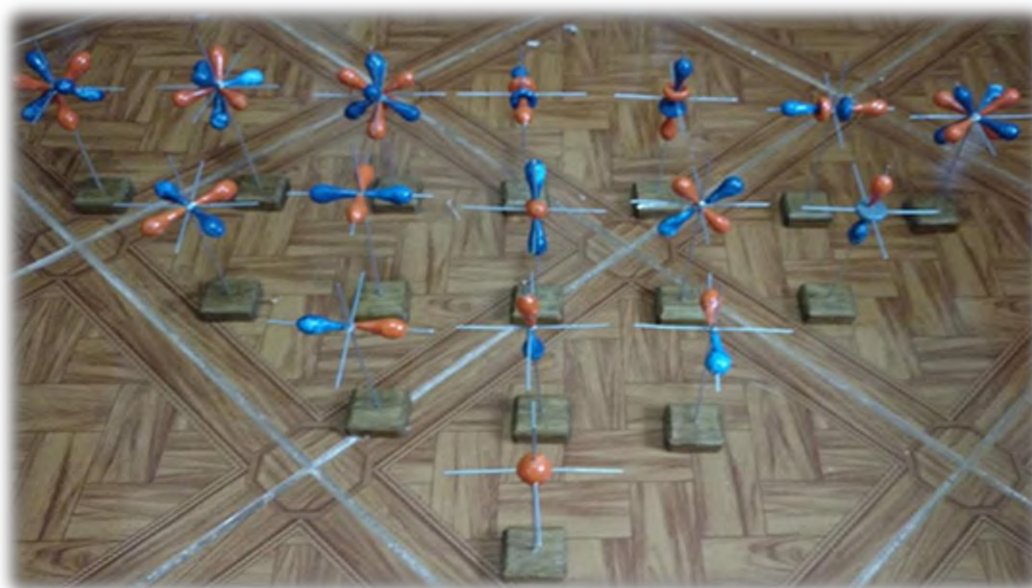


Figura 42: Orbitais para o átomo de Hidrogênio em biscuit.

7. A Exposição Final

A partir da reestruturação que foi discutida ao longo do capítulo 6, a exposição passa a ser dividida em 6 bancadas: Dalton (figura 43A), Thomson (figura 43B), Nagaoka (figura 43C), Rutherford (figura 43C), Bohr (figura 43D), Sommerfeld (figura 43E) e o átomo pelo ponto de vista da mecânica quântica (figura 43F), a Figura 43G complementa a bancada da figura 43F.

A bancada 1 (figura 24A) que antes trazia uma lista de elementos mapeado por Dalton representados fora de escala, uma cópia dos elementos em papel envelhecido e um porta retrato com informações do cientista, agora (figura 43A) passa a conter uma quantidade muito maior de elementos e em escala (exceto os de cor laranjas, devido à dimensão que chegariam e não era prático colocar na bancada), já o manuscrito dos elementos foi substituído por impressões da primeira página de cada capítulo do livro do Dalton publicado em 1808, o porta retrato com as informações do cientista foi mantido.

A bancada 2 (figura 24B) antes havia uma maquete do experimento tubo de raios catódicos, manuscritos de formalismo matemático contidos no livro de Física Moderna dos autores Francisco Caruso e Vitor Oguri, a representação do modelo em isopor e um porta retrato com informações do cientista, o experimento dos raios catódicos foi substituído pela maquete do experimento carga/massa semelhante ao que será

encontrado na plataforma NUTEC, as cópias foram substituídas pelo artigo publicado por Thomson, onde ele discute os procedimentos para propor seu modelo. Já o modelo em isopor apenas foi feito em material de biscuit e colocado sobre uma plataforma de madeira, o porta retrato foi mantido novamente (figura 43B).

A bancada 3 (figura 43C) não existia na primeira proposta (figura 24), agora foi criada. Nela colocamos a representação de um modelo em biscuit junto a uma plataforma de madeira e um artigo envelhecido, esse por sua vez não é o de fato publicado pelo autor, e sim de um outro autor que explica o modelo e faz uma contextualização da época e de Nagaoka.

A bancada 3 (figura 24C) transformou em bancada 4 (figura 43D), a modificação foi na reconstrução do experimento didático de Rutherford, e na substituição dos manuscritos de formalismo matemático contidos no livro de Física Moderna dos autores Francisco Caruso e Vitor Oguri, pelo artigo publicado por Rutherford.

A bancada 4 (figura 24D) estava o modelo de Bohr e a interpretação pelo ponto de vista da mecânica quântica (apenas alguns orbitais do átomo de Hidrogênio), foi transformada em bancada 5 e bancada 6 (figuras 43 E e F respectivamente), que discutiremos a seguir.

A bancada 5 (figura 43E) estão os modelos semi-clássicos (CARUSO, F. e OGURI, V, 2006) que são os de Bohr e Sommerfeld, nessa bancada apenas colocamos os artigos originais os autores.

A banca 6 (figura 43 F e G), representamos o átomo pelo ponto de vista da Mecânica Quântica, finalizando a exposição. Nessa bancada colocamos alguns orbitais para o átomo de Hidrogênio e a resolução do mesmo está contido em um caderno sobre a bancada. A figura 43G traz um artigo e a bibliografia de Schrödinger



Figura 43: A. Bancada 1 - Modelo de Dalton; B. Bancada 2 - Modelo de Thomson; C. Bancada 3 - Modelo de Nagaoka; D. Bancada 4 - Modelo de Rutherford; E. Bancada 5 - Semi-Clássicos Modelo de Bohr e Sommerfeld; F. Bancada 6 - O átomo pelo ponto de vista da Mecânica Quântica; G. Bibliografia e artigo original de Schrödinger, acompanhado dos orbitais.

8. Considerações Finais

Nesse trabalho propomos uma exposição da história do átomo no museu DICA. A mesma parte de uma ideia proposta na construção de uma mostra durante a disciplina PIPE 5. Devido a sugestões dos professores da educação básica, que visitaram a mostra de PIPE 5 resolvemos aplica a mostra novamente sem nenhuma alteração no Brincando e Aprendendo. Uma vez que, na primeira aplicação não tivemos um número de aluno da educação básica para percebêssemos a reação dessa classe de estudante.

Devido ao excesso de concepções equivocadas que os estudantes e professores do ensino básico trouxeram, e em função de alguns materiais didáticos (ABRIL, 2014) que reforçam essas concepções e abordam o tema de forma superficial, resolvemos transformar a mostra em uma exposição definitiva para o museu DICA.

O processo de construção da exposição definitiva levou em consideração o levantamento bibliográfico, os três aspectos de Falcão (2007) e a abordagem com o público. Tentamos moldar a exposição de acordo com as considerações que os públicos fizeram para uma melhor interação. Também tentamos combater as principais concepções alternativas que não se relaciona com o trabalho original dos cientistas. Além de trazermos O Átomo pelo ponto de vista da mecânica Quântica.

A exposição na nossa proposta foi finalizada, mas pode ser vista como ferramenta para trabalhos futuros, uma vez que a mostra começa no modelo de Dalton (século XIX) pode expandir para os pensamentos mais remoto de átomo. O modelo atômico de Nicholson não foi abordado (LOPES, C. V. M. 2009). Além de poderem utilizar a parte que trabalhamos de mecânica quântica como um incentivo para construção de uma exposição de Mecânica Quântica mais expandida.

9. Referências Bibliográficas

ABRIL, 2014. *GUIA DO ESTUDANTE: QUÍMICA VESTIBULAR + ENEM*. São Paulo: Abril, 2014.

BRAGA, M., GUERRA A. e REIS J. C. *BREVE HISTÓRIA A CIÊNCIA MODERNA*, 2ª edição, volume 4, Editora ZAHAR, 2011.

BROCKINGTON, G. e PIETROCOLA, M. *SERÃO AS REGRAS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA APLICÁVEIS AOS CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA?* Investigações em Ensino de Ciências – V10(3), pp. 387-404, 2005

CALUZI, J. J., FREITAS, D. e, OVIGLI, D. F. B.; *QUANDO OS MUSEUS DE CIÊNCIAS TORNAM SE ESPAÇOS DE FORMAÇÃO DOCENTE*; PIROLA, NA. org. Ensino de ciências e matemática, IV: temas de investigação [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. Disponível em: SciELO Books <<http://books.scielo.org/>>.

CARDOSO, D. C., *A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA*. Universidade Federal de Uberlândia – 2016.

CARUSO, F. e OGURI, V. *Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2006.

CHANG, R. *QUÍMICA GERAL: CONCEITOS ESSENCIAIS*. 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

CHINELLI, M. V.; Aguiar, L. E. V. *EXPERIMENTOS E CONTEXTOS NAS EXPOSIÇÕES INTERATIVAS DOS CENTROS E MUSEUS DE CIÊNCIAS*. Investigação em Ensino de Ciências – V14(3), pp. 377 – 392, 2009.

DALTON, J. *NEW SYSTEM of CHEMICAL PHILOSOPHY* - S. Russell, is 5t Oeanigate, FOR R. BICKERSTAFF, STRAND, LONDON, 1808.

DIAS, D. L. "*TEORIA ATÔMICA DE DALTON*"; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/teoria-atomica-dalton.htm>>. Acesso em 19 de novembro de 2017

DAVIS, A. H... [et.al]. *O LIVRO A CIÊNCIA*; tradução Alice Klesck. – 1.ed – São Paulo: Globo Livros, 2014;

FALCÃO, D.; *ANÁLISE DO CONTEXTO DE CRIAÇÃO DE APARATOS INTERATIVOS EM MUSEUS DE CIÊNCIA*. Museu de Astronomia e Ciências Afins/Coordenação de Educação em Ciências - 2007.

FILGUEIRAS, C. A. *A EVOLUÇÃO DA QUÍMICA DO SÉCULO XVI AO SÉCULO XIX ATRAVÉS DE TEXTOS ORIGINAIS*. Revista TriploV de Artes, Religiões e Ciências, 25 de abril de 2017.

FILHO, E. B., FIORUCCI, A. R., BENEDETTI L. P. S. e CRAVEIRO J. A., *PALAVRAS CRUZADAS COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO DE TEORIA ATÔMICA*. Química Nova na Escola, Vol. 31, N° 2, MAIO 2009.

FIGUEIREDO, J. M. L. *É TEMPO DE DIZER EUREKA! NO ENSINO DE FÍSICA*. arXiv: física / 0503002 – abril 2005.

FIOLHAIS, M. e RUIVO, M. C. *O MODELO ATOMICO SATURIANO DE NAGAOKA*. Gazeta de Física. Vol. 19, Fasc 1, 1996.

FRANCISCO R. H. P. *ÁTOMO. REVISTA ELETRÔNICA DE CIÊNCIAS*. N. 03, janeiro de 2002.

FONSECA, M. R. M. *QUÍMICA: (ENSINO MÉDIO) I*. 1. ed. São Paulo: Ática, 2013. v. 1.

ICOM - *INTERNATIONAL COUNCIL OF MUSEUMS*. Disponível em: <[http://icom-portugal.org /category/definicoes/](http://icom-portugal.org/category/definicoes/)>. Publicado por ICOM Portugal em 19 Mar 2015 em Definições. Acesso em 19 Dez 2017.

LAVOISIER, A. L., 1789. *TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE E CHIMIE*. Tradução: Trindade, L. S. P., M. São Paulo: Madras, 2007.

LOPES, C. V. M. e MARTINS, R. A. - *HANS GEIGER E ERNEST MARSDEN EM MANCHESTER (1909-1910): 100 ANOS DOS “EXPERIMENTOS DE RUTHERFORD” COM PARTÍCULAS*. A Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química - Outubro 2009.

LOPES, C. V. M. *MODELOS ATÔMICOS NO INÍCIO DO SÉCULO XX: DA FÍSICA CLÁSSICA À INTRODUÇÃO DA TEORIA QUÂNTICA*. PUC – São Paulo, 2009.

JOFIL, Z., *PIAGET, VYGOTSKY, FREIRE E A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NA ESCOLA*. Departamento de Educação; Universidade Católica de Pernambuco. Ano 2, nº 2 – dezembro 2002.

MARANDINO, M. *EDUCAÇÃO EM MUSEUS: A MEDIAÇÃO EM FOCO*. FEUSP, São Paulo, 2008.

MARANDINO, M. *MUSEUS DE CIÊNCIAS COMO ESPAÇOS DE EDUCAÇÃO IN: MUSEUS: DOS GABINETES DE CURIOSIDADES À MUSEOLOGIA MODERNA*. Belo Horizonte: Argumentum, 2005, p. 165-176.

MARANDINO, M. *A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA EM MUSEUS DE CIÊNCIAS*. 24^a Reunião Anual da ANPED-Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa, 2001.

MARÇAL, D. *PSEUDOCIÊNCIA* - Fundação Francisco Manuel Dos Santos – FFMS, dezembro de 2014.

MARQUES, D.M. *AS INVESTIGAÇÕES DE ERNEST RUTHERFORD SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA*. Unesp – Bauru, 2006.

MEC, 2013 *DIRETRIZES CURRICULARES NACIONAIS GERAIS DA EDUCAÇÃO BÁSICA / MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO*. Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral, Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

NAGAOKA, H. LV. *KINETICS OF A SYSTEM OF PARTICLES ILLUSTRATING THE LINE AND THE BAND SPECTRUM AND THE PHENOMENA OF RADIOACTIVITY. PHILOSOPHICAL MAGAZINE*, vol. 7 pag. 445, 1904.

NASCIMENTO, R. *O OBJETO MUSEAL COMO OBJETO DE CONHECIMENTO*. Caderno de Museologia N° 3. 1994.

NOVAES, M. e STURDART, N. *MECÂNICA QUÂNTICA BÁSICA*, 1ª edição, Editora Livraria da Física, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M., *CURSO DE FÍSICA BÁSICA 2: FLUIDOS, OSCILAÇÕES E ONDAS, CALOR*, 4ª edição, Editora Edgard Blücher, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M., *CURSO DE FÍSICA BÁSICA 4: ÓTICA, RELATIVIDADE E FÍSICA QUÂNTICA*, 2ª edição, Editora Edgard Blücher, 2014.

OSVALDO, P. J. *CONCEITO DE FÍSICA QUÂNTICA* – São Paulo: Editora Livraria da Física, 1ª ed, 2003.

PARENTE F. A. G., SANTOS A. C. F., Tort, A. C. *OS 100 ANOS DO ÁTOMO DE BOHR*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 4, 4301 (2013).

PEIXOTO, E. M. A. *QUÍMICA QUÂNTICA. PARTE I: O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO*. Instituto e Química, Universidade de São Paulo, Química Nova, 1977.

PERUZZO, T. M. e CANTO, E. L. *QUÍMICA: NA ABORDAGEM DO COTIDIANO*. Volume único, 1 ed. São Paulo: Moderna, 1996.

PERUZZO, J., POTTKER W. E. e PRADO, T. G. *FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: DAS TEORIAS QUÂNTICAS E RELATIVÍSTICAS ÀS FRONTEIRAS DA FÍSICA*, 2ª edição, Editora Livraria da Física, 2014

PLEITEZ, V. *RESENHA DE LIVRO BOHR: O ARQUITETO DO ÁTOMO*, por M. C. Abdalla. Instituto de Física Teórica, Universidade Estadual Paulista, São Paulo – SP, 02 junho de 2003.

RUTHERFORD, E. *THE SCATTERING OF A AND B PARTICLES BY MATTER AND THE STRUCTURE OF THE ATOM*. Philosophical Magazine. Series 6, vol. 21, Maio 1911, p. 669-688

SANTOS, W. L. P. MÓL, G.S. MATSUNAGA, R. T et. Al. 2005. *QUÍMICA E SOCIEDADE*. Volume único, 1 ed. São Paulo: Nova Geração, 2009

STRATHERN, P, 1940. *MENDELEYEV'S DREAM: THE QUEST FOR THE ELEMENTS*. Tradução: Borges, M. L. X. A. Rio de Janeiro: Zahar, 2002.

TIPLER, P.A. e R. A. LIEWELLYN, R. A. - *FÍSICA MODERNA*, 3a. edição (LTC, Rio de Janeiro, 2001)

VIANA, H. E. B., *A CONSTRUÇÃO DA TEORIA ATÔMICA DE DALTON COMO ESTUDO DE CASO – E ALGUMAS REFLEXÕES PARA O ENSINO DE QUÍMICA* - São Paulo, 2007.

ZETILLI, N. *QUANTUM MECHANICS: CONCEPTS AND APPLICATIONS*, WILLEY 2nd Edition, 2009.

<http://allchemistry.iq.usp.br/metabolizando/beta/01/jdalton.htm>. Acesso 03/12/2017 às 16:28.

<http://www.fampeople.com/cat-hantaro-nagaoka>. Acesso 01/11/2017 às 21:24.

https://www.ebiografia.com/john_dalton/ acesso 03/12/2017 às 13:25.

<https://museudoamanha.org.br/pt-br/sobre-o-museu>. Acesso 12/12/2017 às 19:14.

http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/linha%20tempo/Schrodinger/pdf_LT/LT_schrodinger.pdf. Acesso 16/12/2017 às 00:40.