



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT  
MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA - MECM**

**TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO:  
UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E CONCEITUAL DOS MODELOS ATÔMICOS**

**JOSÉ FERNANDO DE MELO**

**CAMPINA GRANDE/ PB  
2014**

**JOSÉ FERNANDO DE MELO**

**TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO:  
UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E CONCEITUAL DOS MODELOS ATÔMICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de mestre em Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Frederico da Silveira.

Coorientador: Prof. Dra. Ana Paula Bispo da Silva

**CAMPINA GRANDE – PB  
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

M528t Melo, José Fernando de.

Tópicos de física moderna e contemporânea no Ensino Médio [manuscrito] : uma abordagem histórica e conceitual dos modelos atômicos / José Fernando de Melo. - 2014.

163 p. : il. color.

Digitado.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Alessandro Frederico da Silveira., Departamento de Física".

"Co-Orientação: Profa. Dra. Ana Paula Bispo da Silva, Departamento de Física".

1. Ensino de Física. 2. Física moderna. 3. Física contemporânea. 4. História da Física. 5. Modelos atômicos. I.

Título.

21. ed. CDD 530

JOSÉ FERNANDO DE MELO

**TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO  
ENSINO MÉDIO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E  
CONCEITUAL DOS MODELOS ATÔMICOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado de Ensino e Ciências e Matemática da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de mestre em Ensino de Ciências.

Aprovado em: 26 / 05 / 14

**BANCA EXAMINADORA**



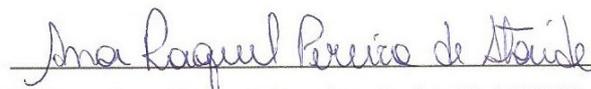
**Prof. Dr Alessandro Frederico da Silveira / UEPB**  
Orientador



**Profª. Dra. Ana Paula Bispo da Silva/ UEPB**  
Coorientadora



**Prof. Dr. Marco Braga/ CEFET-RJ**  
Examinador Externo



**Profª. Dra. Ana Raquel Pereira de Ataíde/ UEPB**  
Examinador Interno

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me contemplado com a graça divina da vida, por me oferecer condições de lutar por meus objetivos, pela coragem para enfrentar os obstáculos e por nunca ter me abandonado nos momentos difíceis.

Ao Professor Alessandro Frederico da Silveira por ter possibilitado a construção desse trabalho, pela paciência, pelas orientações fundamentais para o andamento de tudo que conseguimos construir juntos, pelo incentivo, pelos conselhos e por sua dedicação. Obrigado por fazer parte de uma fase importante da minha vida.

À professora Ana Paula Bispo da Silva por fazer parte de mais uma jornada de minha vida acadêmica, com seus conselhos que tanto me ajudaram desde a graduação. Obrigado por ter me auxiliado na construção de mais um trabalho e acima de tudo por ter confiado em mim durante tanto tempo, apesar de minhas falhas em alguns momentos.

À Professora Ana Raquel por ter aceitado o convite para a avaliação do meu trabalho, por contribuir com seu olhar crítico, por me ajudar desde a graduação e por ter acreditado no meu potencial. Obrigado pelos conselhos, que sempre com bom humor, me fizeram refletir bastante ao longo de meus trabalhos acadêmicos e acima de tudo por ter me incentivado a continuar estudando física.

Ao Professor Marco Braga por sua gentileza de ter vindo de tão longe para contribuir de maneira crucial em minha pesquisa. Obrigado por me fazer enxergar a importância dos detalhes e a complexidade, que uma abordagem diferenciada pode trazer para a interpretação da construção do conhecimento científico.

À minha avó Diolinda pelos conselhos de vida, pelos momentos de companheirismo durante as noites de trabalho e pela sabedoria que me transmitiu ao longo de minha formação como profissional e como pessoa. Obrigado por cuidar de mim.

À minha Mãe Maria das Graças e a meu pai Aluísio por me ajudarem nos momentos de dificuldade, por sempre estarem lá quando precisei de ajuda, por cuidarem de mim até hoje, pela paciência e acima de tudo por serem pais maravilhosos, sempre prontos para me dar conselhos me ensinando tanto sobre a vida.

A meus irmãos pelos momentos de companheirismo, alegria e amizade durante a minha caminhada na vida pessoal e acadêmica. Em especial a meu irmão José Natal, por sempre estar lá quando precisava de conselhos e motivação.

Aos meus colegas de mestrado que tanto me apeguei como Juvenal, Humberto e Aauto com os quais construí uma amizade muito forte. E em especial a Priscila e Tony, que me acompanharam desde a graduação e vivenciaram um pouco das minhas dificuldades, sempre me ajudando da forma que podiam.

## RESUMO

Nas três últimas décadas as pesquisas na área de Ensino de Física têm apontado para a necessidade de utilização da Física Moderna e Contemporânea FMC no ensino médio como uma forma de se alcançar uma modernização e renovação dos conteúdos de Física nesse nível de ensino. No entanto, poucos reflexos têm chegado às salas de aula, e na maioria das vezes quando chegam, trazem consigo os mesmos problemas enfrentados pelo currículo anterior, tais como a formalismo matemático complicado, carga horária sobrecarregada ou a falta de uma formação adequada para os professores. Em meio a esses problemas o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma proposta didática para trabalhar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, utilizando como auxílio à história e filosofia da ciência. O episódio histórico estudado diz respeito ao desenvolvimento das investigações acerca da estrutura da matéria entre o final do século XIX e início do século XX, período de fortes mudanças conceituais na Física. Após a descrição da proposta didática, relatamos a experiência da aplicação da mesma em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola da cidade de Campina Grande.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Física, Física Moderna e Contemporânea, História da Física, Modelos atômicos.

## **A B S T R A C T**

In the last three decades the research in Physics Education have pointed to the need for the use of Modern and Contemporary Physics (MCP) in High School, as a way to achieve of the Physics' modernization and renewal contents at this degree of education. However, a few reflections have come to the classroom, and most of the times when they arrive, bring with them the same problems faced like as the previous curriculum, such as complicated mathematical formalism, overburdened workload or lack of appropriate training for teachers. Between these problems, this paper aims to present a didactic proposal to work content (MCP) in High School, using as a support to the science's history and philosophy. The historical episode studied concerns the development of research into the structure of matter between the late nineteenth and early twentieth century, a period of strong conceptual change in Physics. After a description of didactic proposal, we report the experience of applying it in a class of third year High School students in a school in the city of Campina Grande.

**KEYWORDS:** Physics Teaching, Modern and Contemporary Physics, History of Physics, Atomic Models.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração do momento de aplicação da atividade de investigação dos conteúdos das caixas .....	59
Figura 2 – Estudantes confeccionando o painel .....	60
Figura 3 – Ilustração de algumas atividades do primeiro momento da terceira intervenção.....	64
Figura 4 – Ilustração de algumas construções da oficina pedagógica (1) .....	65
Figura 5 – Apresentação das produções das equipes para a oficina .....	65
Figura 6 – Ilustração dos estudantes montando os textos .....	67
Figura 7 – Ilustração de alguns momentos da 7ª aula .....	69
Figura 8 – Configurações dos obstáculos colocados nas placas .....	70
Figura 9 – Equipes realizando as marcações das trajetórias das esferas .....	70
Figura 10 – Desenhos produzidos pelas equipes para representar os obstáculos .....	72
Figura 11– Momento da quinta intervenção .....	75
Figura 12 – Painéis confeccionados para a atividade do portfólio .....	76
Figura 13 – Momentos das equipes construindo o portfólio .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Cronograma das atividades da primeira intervenção .....	110
Tabela 2 –	Cronograma das atividades da segunda intervenção.....	112
Tabela 3 –	Cronograma das atividades da terceira intervenção.....	114
Tabela 4 –	Cronograma das atividades da quarta intervenção.....	116
Tabela 5 –	Cronograma das atividades da quinta intervenção.....	118
Tabela 6 –	Cronograma das atividades da sexta intervenção.....	119

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA (FMC).....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 – Utilização de HC no ensino de Física.....</b>	<b>14</b>
2.2 – A importância da (HFC) para a visão dos estudantes sobre a natureza da ciência.....	15
2.3 – As problemáticas e as perspectivas da (HFC) para o ensino.....	16
2.4 – Porque FMC na escola básica?.....	17
<b>3. O EPISÓDIO HISTÓRICO EM QUESTÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1– As Principais Interpretações para o interior da matéria entre o final do século XIX e início do século XX: Diferentes Olhares para a Estrutura da Matéria.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 – As Principais Pesquisas sobre Matéria e Radiação entre o final do século XIX e início do século XX.....	21
<b>3.1.2 – O Modelo Atômico de Thomson.....</b>	<b>23</b>
3.1.2.1 – Um pouco de sua Biografia.....	23
3.1.2.2 – As Proposições de Thomson.....	24
3.1.2.3 – O Átomo na Visão de Thomson.....	24
<b>3.1.3 – O Modelo Atômico de Nagaoka.....</b>	<b>27</b>
3.1.3.1 – A situação do Japão no final do Século XIX e os primeiros trabalhos.....	27
3.1.3.2 – A interpretação de Nagaoka para o Átomo.....	28
3.1.3.3 – As Principais diferenças entre o modelo de Nagaoka e Thomson.....	30
<b>3.1.4 – A Proposta de Ernest Rutherford para o Átomo.....</b>	<b>30</b>
3.1.4.1 – Informações Biográficas.....	30
3.1.4.2 – O Modelo Atômico de Rutherford.....	32
<b>3.1.5 – A Interpretação de Niels Bohr .....</b>	<b>35</b>

3.1.5.1 – Um pouco de sua Trajetória.....	35
3.1.5.2 – Novas Características para o Átomo.....	36
3.1.5.3 – As Considerações Fundamentais do “Programa”: Um novo Olhar para a Matéria.....	38
3.1.5.4 – Considerações sobre o modelo e as Contribuições para a Teoria em ascensão.....	41
<b>4. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E A ESTRATÉGIA ADOTADA.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 – O conceito de Transposição Didática .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 – O movimento dos saberes.....</b>	<b>46</b>
4.2.1 – O saber sabido.....	46
4.2.2 – O saber a ensinar.....	47
4.2.3 – O saber ensinado.....	48
<b>4.3 – A dinâmica do saber e nosso referencial: Regras da transposição didática.....</b>	<b>49</b>
4.3.1 – O nosso referencial.....	52
<b>5. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1– A proposta didática .....</b>	<b>55</b>
<b>6. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>6.1 – Primeira Intervenção.....</b>	<b>58</b>
<b>6.2 – Segunda Intervenção.....</b>	<b>63</b>
<b>6.3 – Terceira Intervenção.....</b>	<b>66</b>
<b>6.4 – Quarta Intervenção.....</b>	<b>68</b>
<b>6.5 – Quinta Intervenção.....</b>	<b>73</b>
<b>6.6 – Sexta Intervenção.....</b>	<b>75</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>131</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as possibilidades de renovação curricular para a Física a nível médio de ensino, a inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea FMC é defendida por alguns pesquisadores da área, a considerar que são muitas as razões para que isso aconteça. Loch e Garcia (2009) destacam que, em meio às razões tem-se o potencial significativo dos conteúdos, a abrangente interpretação da era tecnológica em que vivemos e as implicações para o ensino visando o pensamento crítico dos estudantes sobre o conhecimento científico e suas implicações na sociedade.

Para Gil Perez (1989) a introdução de FMC no ensino médio pode contribuir para fornecer aos estudantes uma imagem mais complexa de toda a Física e da própria natureza do trabalho científico, a compreensão do significado da ciência e dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna.

No entanto, ainda são poucos os reflexos que têm chegado às salas de aulas, e na maioria das vezes, quando chegam trazem consigo os mesmos problemas enfrentados pelo currículo anterior, como a valorização do formalismo matemático, ou a falta de uma formação adequada para os professores abordarem os assuntos.

Pietrocola (2010), nos chama atenção à realidade do ensino de Física, em que as dificuldades de décadas atrás continuam se arrastando:

[...] No ensino de Física persiste a valorização de aspectos conceituais, retendo nomes de determinados personagens, funções, bem como a resolução de exercícios com aplicação de fórmulas e algoritmos, prejudicando o saber sobre a ciência e sobre os usos da ciência (PIETROCOLA, 2010, p.15).

Ainda existem outros problemas que devem ser levados em consideração, a exemplo, do tempo reduzido para esta área do conhecimento nas escolas (MONTEIRO, NARDI e FILHO, 2009), que pode ocasionar a simplificação e seleção de determinados conteúdos em detrimento de outros e a falta de material didático adequado para a realidade dos estudantes, uma vez que a maioria dos livros didáticos não atendem as necessidades dos temas de FMC, apesar da crescente demanda nos últimos dez anos.

Em meio a esses problemas, Monteiro, Nardi e Filho (2009) destacam as dificuldades que os professores de Física encontram ao tentarem trabalhar temas de FMC em suas aulas, ligadas especialmente aos programas curriculares e a falta de uma preparação adequada de

suas respectivas formações profissionais, as quais não oferecem subsídios para que possam abordar os conteúdos de maneira adequada a realidade dos estudantes em nível médio.

Devido a fatores como estes muitos docentes acabam abordando o tema com os mesmos problemas apontados por Pietrocola (2010), que ainda estão presentes no ensino da Física abordada no ensino médio. Não obstante, essas dificuldades devem ser superadas aos poucos, por meio da elaboração de estratégias que auxiliem os professores no desenvolvimento de atividades que despertem a curiosidade dos estudantes e possibilitem a aprendizagem de conceitos de FMC.

Na última década, vários pesquisadores da área de ensino de Física vêm desenvolvendo propostas nesse intuito, através do uso de softwares, textos com enfoque em Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS) e História e Filosofia da Ciência (HFC) (LOCH e GARCIA, 2009).

A HFC em especial vem ganhando cada vez mais espaço e hoje pode ser considerada uma das abordagens mais utilizadas (LOCH e GARCIA, 2009, p.4). Na visão de muitos autores (VANNUCCHI, 1996; MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2006) a HFC constitui uma importante área do conhecimento com profundas implicações para a didática das ciências tanto no ensino médio quando em cursos de formação de professores. Esses autores defendem que a compreensão, mesmo que modesta da HFC é de grande relevância tanto para pesquisadores, como professores e estudantes do ensino médio desenvolverem competências acerca da construção ciência.

Várias pesquisas têm trabalhado nessa perspectiva (FREIRE JR e CARVALHO, 1997, CHIARELLI, 2006) e evidenciado a viabilidade em abordar FMC com o auxílio da HFC.

Um dos temas que podemos citar são as interpretações para o átomo ou como ficaram conhecidas, os modelos atômicos, que em física é abordado de forma muito superficial, desde o ensino médio. Já em química é dada uma atenção especial ao tema, especialmente por se tratarem de modelos, que são de fundamental importância para a química, a qual está baseada praticamente em modelos, não somente os atômicos, mas também os moleculares, os de reações e os matemáticos. No entanto, essa ideia não é contemplada pelo professor, pela maioria dos livros didáticos e, conseqüentemente pelos estudantes. Os modelos atômicos em especial são tratados como entidades palpáveis e visíveis, como se representassem realmente a natureza, quando na verdade são criações humanas sujeitas a falhas.

Apesar dos esforços nas abordagens do tema, poucas vezes ele é trabalhado afim de superar essas dificuldades muito menos com ênfase em sua importância histórica e conceitual

para o desenvolvimento da ciência do início do século XX, que reflete até hoje na construção de várias áreas conhecimento. Pelo contrário, os modelos atômicos são abordados de forma linear dando a impressão de que as interpretações para o átomo foram desenvolvidas uma após a outra, como se um pesquisador estivesse completando o trabalho do outro ou apenas resolvendo falhas nos modelos existentes.

Esse fato inicia-se desde o ensino superior, quando os estudantes são "bombardeados" por uma gama de conceitos, fórmulas e algoritmos, que geralmente são trabalhados sem nenhuma preocupação com a discussão de como tais estudos foram desenvolvidos.

Dessa forma, aspectos importantes sobre os modelos atômicos e conseqüentemente sobre o conhecimento científico são deixados de lado, tais como o contexto histórico no qual as interpretações foram elaboradas, a importância tanto dos erros como dos resultados positivos, as divergências entre ideias etc.

Ambos os aspectos são de grande relevância para os estudantes do ensino médio e podem ser trabalhados juntos, apesar das dificuldades, propiciando uma abordagem mais complexa do conhecimento científico auxiliando na compreensão de características da construção da ciência.

Estudando os modelos atômicos é possível elucidar o quanto as explicações científicas apresentam determinadas limitações na explicação do que é observado macroscopicamente, exigindo que novos modelos sejam elaborados para tentar superar as limitações. No entanto, quando vamos para a realidade as coisas são diferentes. Geralmente os modelos são trabalhados de maneira fragmentada causando dificuldades para que os estudantes possam estabelecer relações entre o modelo atômico e o comportamento da matéria.

Em meio a esta problemática, o presente trabalho traz a seguinte questão: é possível abordar os modelos atômicos numa perspectiva histórica e conceitual para trabalhar conceitos de FMC? Para tentarmos responder a esta pergunta, apresentamos uma proposta didática desenvolvida para o ensino médio, tendo como foco as interpretações para o átomo desenvolvidas entre o final do século XIX e início do século XX.

Em nossa proposta abordamos aspectos históricos e conceituais do tema em questão, a fim de possibilitar aos estudantes do ensino médio uma discussão de características do conhecimento científico, ligadas ao surgimento de uma nova área da Física. Executamos a proposta numa turma de 3ª ano do ensino médio de uma escola pública do município de Campina Grande-PB, por meio de uma série de atividades que serão descritas neste trabalho.

O trabalho está dividido em seis capítulos. O primeiro trata da importância da (HFC) no Ensino de Ciências, as contribuições para a visão dos estudantes acerca da construção do conhecimento científico e as problemáticas de se trabalhar com a abordagem histórica. Na sequência, abrimos uma discussão sobre a utilização de FMC no ensino médio, destacando as principais justificativas para o seu uso no ensino médio e as maiores dificuldades enfrentadas pelos educadores.

No segundo capítulo, apresentamos a investigação que serviu de base, ou mais especificamente o texto base, para a elaboração do material didático que utilizamos ao longo de nossas intervenções. Inicialmente justificamos o porquê do tema escolhido, situando o leitor no período histórico em questão. Em seguida, discutimos o foco de nossa investigação e apresentamos algumas considerações relacionadas a importância do tema no desenvolvimento da FMC no início do século XX.

No terceiro capítulo, discutimos um pouco sobre aspectos da transposição didática que nos auxiliaram durante a preparação do material que utilizamos durante as aulas, tendo como base a investigação histórica e conceitual realizada no capítulo anterior.

Após o desenvolvimento dessa pesquisa teórica, partimos para a elaboração das estratégias que seriam utilizadas durante as intervenções em sala de aula. Para essa discussão destinamos o quarto capítulo, onde apresentamos toda a descrição metodológica da pesquisa, seguida da proposta didática, destacando os objetivos e as atividades a serem desenvolvidas.

No quinto capítulo, apresentamos o resultado de nossa pesquisa empírica, que consistiu na aplicação da proposta elaborada, por meio da descrição de cada intervenção didática realizada na escola, apresentamos aspectos positivos e negativos vivenciados com a experiência da proposta aplicada e algumas considerações sobre as aulas, destacando os problemas encarados e a experiência adquirida para novos estudos.

Por último, no sexto capítulo, apresentamos as considerações finais sobre o estudo, descrevendo as experiências que ficaram e as possíveis contribuições para o ensino de FMC no ensino médio, além de lançarmos a proposta desenvolvida, como uma possível alternativa para que professores do ensino médio possam introduzir tópicos de FMC no ensino básico, por meio do estudo das interpretações sobre a constituição da matéria.

## **2. ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: O USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA E A INSERÇÃO DA FÍSICA MODERNA**

Ao longo deste capítulo traçaremos as dificuldades e conquistas no que diz respeito ao ensino de Física nos últimos anos e os obstáculos que ainda persistem. Na sequência faremos uma análise sobre o uso da HC no ensino de física, destacando sua importância como ferramenta didática para a construção de uma visão mais adequada acerca da construção do conhecimento. Por último destacaremos o uso da FMC no ensino médio, apresentando as principais justificativas para a sua abordagem.

### **2.1. Utilização da HC no ensino de física**

Há algumas décadas tem sido crescente o número de pesquisas realizadas na área de Ensino de Ciências com o intuito de promover mudanças nos currículos, em todos os níveis, voltadas para diferentes tipos de abordagens. Uma delas é a abordagem contextualizada, que tenta estudar a ciência, conectando-a com preocupações pessoais, éticas, políticas e culturais. Esses importantes aspectos estão inseridos principalmente nas abordagens de ensino por meio da História e Filosofia da Ciência (HFC), que está sendo cada vez mais explorada por pesquisas na área de Ensino de Ciências.

No Brasil as iniciativas foram pontuais durante alguns anos e acentuaram-se nas duas últimas décadas, inserida nas chamadas abordagens contextuais de Ensino de Ciências (MATTHEWS 1994) com a perspectiva de uma aprendizagem com respeito às ciências (ou sobre a natureza das ciências). Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN's) é um exemplo disso, vejamos o que eles dizem na seção destinada aos conhecimentos das ciências naturais:

[...] Das diferentes especialidades, em termos da história dos conceitos ou de sua interface tecnológica, não impedem que a história das ciências seja compreendida como um todo, dando realidade a uma compreensão mais ampla da cultura, da política, da economia, no contexto maior da vida humana. Por tudo isso, a contextualização sociocultural das ciências e da tecnologia deve ser vista como uma competência geral, que transcende o domínio específico de cada uma das ciências naturais (BRASIL, 2002, p.25).

Apesar de comentários pontuais como estes, os PCN's não se comprometem, de fato, com a abordagem contextual das ciências naturais. Dessa forma cabe aos educadores uma postura mais sistemática dos aspectos históricos e filosóficos ao longo do documento. Isso pode ser feito através do desenvolvimento de competências como assinaladas por Matthews:

(I) o conhecimento e a apreciação da ciência que ensinam; (II) alguma compreensão da história e filosofia da ciência; e (III) alguma teoria ou visão educacional que informe suas atividades em sala de aula.

Estas competências podem ser consideradas o ponto de partida para o desenvolvimento de um ensino mais contextualizado tendo como suporte a (HFC). Não é tarefa fácil e deve ser desenvolvida com cautela por meio de uma investigação séria, atentando-se para a construção de uma visão mais adequada acerca da natureza da ciência.

## **2.2. A importância da (HFC) para a visão dos estudantes sobre a natureza da ciência**

As diversas concepções sobre a ciência podem desempenhar um papel importante na visão dos estudantes acerca do desenvolvimento do conhecimento científico. No entanto, o professor ao utilizar-se de elementos da HFC no ensino deve elaborar estratégias que despertem o interesse dos estudantes pela ciência e desenvolvam concepções mais corretas sobre a mesma.

Segundo El-Hani (2006), se esses procedimentos forem bem desenvolvidos e tendo como suporte a (HFC), os estudantes podem desenvolver concepções adequadas da ciência tais como:

Conhecimento científico, embora robusto, tem uma natureza conjectural;

(I). O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, da evidência experimental, de argumentos racionais e do ceticismo;

(II). Não há uma maneira única de se fazer ciência, i.e, não há um método científico universal, a ser seguido rigidamente;

(III). A ciência é uma tentativa de explicar fenômenos naturais;

(IV). Leis e teorias cumprem papéis distintos na ciência, e teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais se tornam disponíveis;

(VI). Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência;

(VII). A construção do conhecimento científico requer registros de dados acurados, crítica constante de evidências, das teorias, dos argumentos, pelas comunidades de pesquisadores, e replicação de estudos realizados;

(VIII). Cientistas são críticos;

(IX). A história da ciência apresenta um caráter tanto evolutivo tanto revolucionário;

(X). A ciência é parte integrante de tradições sociais e culturais.

Essas e outras características da natureza da ciência fazem da (HFC) um verdadeiro potencial para a contextualização das ciências, inserindo os estudantes num ambiente de investigação que propicie a construção de seu próprio aprendizado.

Não obstante, existem muitas preocupações dos pesquisadores tanto na área de ensino como na área de (HFC), uma vez que não é possível tratar dos pontos descritos acima sem que exista uma formação adequada para tal, a considerar que frequentemente observam-se tentativas equivocadas de se trabalhar a (HFC), por meio de estratégia que resumem a história a anedotas e distorcem os fatos históricos, levando aos estudantes uma visão equivocada do conhecimento científico.

### **2.3. As problemáticas e as perspectivas da (HFC) para o ensino**

Vivemos numa era privilegiada no que diz respeito à comunicação e divulgação científica (artigos, sites, blogs, vídeos etc.). Em termos de quantidade de materiais dispomos de uma vastidão de trabalhos, mas no que diz respeito, principalmente a materiais de (HFC) para o Ensino de Ciências, ainda precisamos melhorar bastante, principalmente em termos de qualidade (MARTINS, 2006).

Muitas vezes o material que encontramos não supre as deficiências em relação a aspectos da (HFC) que deveriam estar presentes em sala de aula. Pelo contrário, a ciência é apresentada como uma sequência de passos bem definidos e desenvolvidos linearmente por uma série de cientistas provocando um total **desinteresse nos estudantes**. Essa é a forma, por exemplo, que o conhecimento é apresentado na maioria dos livros didáticos, que transmitem uma imagem da ciência completamente equivocada.

Questões como essas se encaixam no que muitos pesquisadores denominam **paradigma dominante**. Nessa visão o conhecimento científico é tratado de forma simplificada e acumulativa, onde a ciência só é contada por aqueles que “venceram” (PEDUZZI, 2004). Dessa forma os aspectos éticos, culturais e políticos, considerados extra científicos, são deixados de lado para a construção de uma ciência pronta seguindo um “método científico”, que pode explicar a natureza com grande perfeição. Tudo isso transmite para os estudantes uma visão da ciência distante de sua vida, que só pode ser desenvolvida por pessoas isoladas do resto do mundo, e o que é mais grave, por grandes gênios.

A ciência dessa forma não contribui para o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes. No caso do ensino, as ciências deixam de cumprir seu papel social e ao invés de formarem cidadãos críticos, passam a disseminarem pseudociências.

Existem várias maneiras de superar essas dificuldades, sendo a utilização da HFC uma das possibilidades, desde que se atentem as características do problema enfrentado. Se bem trabalhada ela pode proporcionar aos estudantes um espaço para debate e reflexão no que diz respeito à construção do conhecimento científico e os fatores que influenciam a ciência.

Dessa forma, se faz necessário atentarmos para questões importantes antes de pensarmos em trabalhar HFC em sala de aula. Forato (2009) aponta para três pressupostos fundamentais que devem ser levados em conta. (I) Importância sobre a construção da ciência para a formação dos alunos, (II) contextualização da produção científica por meio da HFC, e, (III) as dificuldades para a construção das narrativas históricas adequadas ao ambiente escolar.

Ao considerarmos tais pressupostos, a (HFC) poderá desempenhar um grande potencial para o Ensino de Ciências, o que entendemos como fundamentais para se trabalhar assuntos de FMC numa perspectiva de abordagem histórica.

#### **2.4. Porque Física Moderna e Contemporânea na escola básica?**

Há algumas décadas, mais especificamente no final da década de oitenta, a preocupação com o ensino de FMC no ensino básico e nos cursos universitários (de forma introdutória) começou a ganhar destaque nos Estados Unidos e a nível internacional, com a “conferência sobre o Ensino de Física Moderna”, realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, em abril de 1986, que reuniu professores e físicos. Nessa conferência abordaram-se os tópicos de pesquisa em Física, principalmente em Física de partículas e cosmologia tanto no ensino médio como nos cursos introdutórios de graduação (AUBRECHT, apud OSTERMANN E MOREIRA, 2000).

Ainda na década de 80, durante a III Conferência Interamericana sobre Educação em Física, foram debatidas as razões para a introdução de tópicos de FMC no ensino médio (BAROJAS, 1988, apud OSTERMANN e MOREIRA, 2001, p.6), tais como:

- ✓ Despertar a curiosidade dos estudantes e ajuda-los a reconhecer a Física como empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- ✓ Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem a Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual as ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;

- ✓ É de grande interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física.

Nesse período o interesse da comunidade científica começou a crescer no que diz respeito à inserção da FMC no currículo do ensino básico, as razões são das mais variadas possíveis, destacando-se as atreladas principalmente à compreensão do mundo cada vez mais vinculado às tecnologias no qual a sociedade está inserida. Nesse contexto, a FMC se apresenta como uma ferramenta para a compreensão das tecnologias e é claro para que os estudantes consigam agir sobre o mundo em que vivem.

No Brasil esse interesse começou a aparecer desde o final 1990, com os esforços na implementação de conceitos de FMC no ensino médio que, no entanto, só se intensificaram realmente no começo do século XXI e crescem a cada ano (LOCH e GARCIA, 2009).

Segundo Ostermann e Moreira (2000) até a década de 90 foram muitos os trabalhos na área de divulgação ou como referências bibliográficas de consulta para professores do ensino médio, no que diz respeito a temas que envolvem FMC. Apesar disso, esses trabalhos são escassos quanto a concepções alternativas dos estudantes de ensino médio, bem como de intervenções em sala de aula, que apresentam resultados de aprendizagem.

Nesse mesmo trabalho eles destacam alguns pontos como; justificativas para a inserção de FMC no ensino médio; questões metodológicas, epistemológicas e históricas; estratégias de ensino e currículos; propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem; livros didáticos de ensino médio que inserem temas de FMC, até o ano de 2001.

De acordo com o que eles apresentam percebe-se um interesse cada vez maior pelo assunto, com várias pesquisas sendo desenvolvidas com diferentes abordagens, destacando-se as abordagens CTS e em menor número a abordagem histórica. Mas por que o interesse na inserção de tais conteúdos? O que eles apresentam diferente?

São muitas as razões para que exista todo um movimento em defesa da inserção de conteúdos referentes à Física do século XX no ensino médio. Dentre elas temos: o potencial significativo dos conteúdos para o aluno, a abrangente interpretação da era tecnológica em que vivemos, mostrando aos estudantes a ciência como construção humana, e que por esse motivo está sujeita a erros.

Outro fator para a inserção de FMC está relacionado ao currículo de física, no qual ainda persiste a valorização da Mecânica Clássica em detrimento das mudanças ocorridas na Física no começo do século XX. O estudo do desenvolvido da física iniciada nesse período

pode propiciar ao estudante/cidadão, a compreensão de algumas implicações da ciência no aspecto social, cultural, ecológico, enfim, global.

A partir do momento que conhecemos essas implicações é possível adotar posturas éticas e políticas, cada vez mais necessárias, quanto ao uso das modernas tecnologias que o avanço da ciência possibilita, analisando o quanto ela está sujeita a mudanças e como o estudo dessas mudanças contribui para a compreensão da construção do conhecimento científico.

Nessa perspectiva a inserção de tópicos de FMC no ensino médio, pode trazer para os estudantes um entendimento do mundo que os cerca e das transformações trazidas pela evolução da física. Compreendê-las pode significar uma educação consciente.

Outras justificativas se apoiam em tendências de pesquisas teóricas que marcam as investigações em Ensino de Física, como a necessidade da compreensão da epistemologia da ciência e o fato de a FMC ter representado uma mudança de paradigma para a Física além da questão da formação para a participação no coletivo e das decisões que envolvem a ciência. Busca-se então, uma compreensão do desenvolvimento dessa Física, de seu caráter paradigmático e do uso do conhecimento moderno como meio de formação de jovens participantes nas decisões que envolvem ciência e tecnologia.

Nessa visão, Pietrocola (2010) afirma que a presença de conceitos de FMC no ensino pode trazer para os estudantes uma visão da Física como uma forma de compreender e intervir sobre a realidade.

Apoiados nessas justificativas acreditamos que a FMC pode fornecer aos estudantes uma visão diferenciada para a interpretação da natureza, uma parte inseparável de nossa cultura que deve ser trabalhada nas salas de aula da escola básica.

### 3. O EPISÓDIO HISTÓRICO EM QUESTÃO

Apresentamos neste capítulo, uma das primeiras etapas de nosso estudo, desenvolvida no segundo semestre de 2012, em que definimos o episódio histórico que iríamos investigar. Nosso objetivo principal era escolher uma fase da história da Física marcada por fortes mudanças conceituais, onde pudéssemos abordar algumas das características da construção do conhecimento científico, tais como as destacadas por El-Hani (2006):

- A construção do conhecimento científico requer registros de dados acurados, crítica constante de evidências, das teorias, dos argumentos, pelas comunidades de pesquisadores, e replicação de estudos realizados;
- Cientistas são críticos;
- O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, da evidência experimental, de argumentos racionais e do ceticismo;
- Não há uma maneira única de se fazer ciência, i.e, não há um método científico universal, a ser seguido rigidamente.

Levando em conta esses pontos e a importância do episódio para o desenvolvimento da FMC, acabamos por optar pelas principais interpretações para a constituição da matéria elaboradas entre o final do século XIX e início do século XX, período marcado pelo conflito entre ideias e introdução de novos conceitos para a Física, que acabaram trazendo diferentes olhares para interpretar o mundo subatômico.

Nas seções abaixo, justificamos o porquê do tema escolhido, situando o leitor no período histórico em questão. Posteriormente, discutimos o foco de nossa investigação e apresentamos algumas considerações relacionadas à importância do tema para o desenvolvimento da FMC do final do início do século XX.

#### **3.1. As principais interpretações para a constituição da matéria entre o final do século XIX e início do século XX: diferentes olhares para a estrutura da matéria**

A trajetória que deu origem ao conhecimento humano sobre a estrutura da matéria é longa e perpassa vários séculos de investigação e interpretações tanto filosóficas como teóricas. Não é um conhecimento que possa ser abordado de forma completa em apenas uma obra. É algo complexo, cheio de diferentes olhares, conflitos de interpretações e união de ideias.

Pensando em características como essas e tendo como objetivo delinear o objeto de estudo, apresentamos nos itens que se seguem uma breve discussão acerca dos principais modelos atômicos desenvolvidos entre o final do século XIX e início do século XX. Com esse estudo abordaremos as principais diferenças entre os modelos para explicar o átomo e as contribuições dos mesmos para o desenvolvimento do conhecimento sobre a constituição da matéria. Optamos por esse período em especial devido a sua importância para a história da evolução do conhecimento sobre a matéria e as contribuições deste para a Física moderna, que começava a dar os seus primeiros passos.

O estudo baseou-se em fontes secundárias - trabalhos de historiadores da ciência - sites de divulgação em história da ciência e fontes primárias. Ao longo do texto destacamos os principais programas de pesquisa com maior influência a respeito das explicações para o átomo, as controvérsias de interpretações, características dos modelos mais influentes e um pouco da biografia de cada cientista.

Iniciaremos o texto apresentando informações sobre o momento que a Física estava passando acerca das investigações sobre matéria e radiação e o reflexo delas para o desenvolvimento de novos programas de pesquisa entre a Física e outras áreas da ciência. Em seguida, apresentamos os modelos atômicos propriamente ditos.

### **3.1.1. As principais pesquisas sobre matéria e radiação entre o final do século XIX e início do século XX.**

No século XIX a Física já se apresentava como uma área do conhecimento bem-sucedida, com contribuições para diversos outros campos como biologia, química e engenharia, sem contar as várias aplicações para os avanços tecnológicos.

Apesar dessa evolução, não existia uma teoria que explicasse a maioria dos fenômenos atribuídos à interação da matéria com a radiação.

As pesquisas que mais se destacavam, envolviam a radioatividade, raios catódicos, valência, elétrons, espectroscopia e efeito Zeeman. Elas trouxeram muitas contribuições para a compreensão da constituição da matéria em especial para as interpretações do átomo nos anos posteriores (LOPES, 2009).

Nesse período, final no século XIX, os estudos dos fenômenos envolvendo matéria e radiação despertavam grande interesse de vários físicos e químicos. Havia um grande número de trabalhos sendo publicados sobre o assunto, destacando-se os de Ernest Rutherford (1871-1937), Frederick Soddy (1887-1956) Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934) entre

outros. Essas pesquisas, segundo Lopes (2009) abriram o caminho para proposições sobre a existência de um núcleo atômico.

Outra linha de investigação, muito importante para as teorias sobre os modelos atômicos, foi desenvolvida por meio dos estudos da radiação do corpo negro<sup>1</sup>, que teve um papel importantíssimo no desenvolvimento posterior da teoria quântica (LOPES, 2009).

Já no que diz respeito às características atômicas, a espectroscopia trouxe um campo fértil para a Física na identificação e descoberta de vários elementos como o Césio, por Robert Kirchoff (1824-1887) e Robert W. Bunsen (1811-1899).

Essas investigações sobre os espectros eram realizadas não só pelos físicos, mas também por químicos e astrônomos, numa colaboração conjunta entre diferentes áreas de pesquisa (astrofísica, astroquímica, cosmoquímica).

Essa colaboração trouxe muitos benefícios para a investigação do átomo, especialmente com o aperfeiçoamento de métodos e equipamentos para a visualização dos espectros e até mesmo de linhas que estavam acima do limite visível, como o infravermelho e o ultravioleta. Os equipamentos desenvolvidos englobavam os telescópios, a fotografia e a espectroscopia.

As investigações estavam centradas na identificação da estrutura dos elementos através dos espectros de absorção e de seus efeitos físicos, por meio da análise de alterações na temperatura, pressão etc.

Apesar do amplo número de pesquisas na área, a espectroscopia não teve um grande impacto, nesse período, na explicação da estrutura da matéria. Sobretudo se pensarmos que até o início do século XX, as explicações dos espectros eram em sua grande maioria relacionadas às propriedades ondulatórias da luz e não a modelos que consideravam partículas carregadas como os elétrons (RIBEIRO, 2002).

Além da Espectroscopia e da Radioatividade, os estudos sobre as moléculas, ligações químicas e valência também deram suas contribuições para a compreensão do interior da matéria. Bem como a química, com o estudo das ligações entre as moléculas.

Todas essas áreas de investigação influenciaram de alguma forma na incansável busca por explicações da composição e características do átomo, que contribuíram de maneira significativa para as teorias atômicas do final século XIX e início do século XX. Nesse intervalo de tempo foram atribuídas ao átomo diferentes configurações além de propriedades estranhas que conflitavam com a Física da época. As interpretações que estavam sendo

---

<sup>1</sup>Modelo teórico desenvolvido com o intuito de estudar a emissão e absorção de radiação por corpos aquecidos.

apresentadas baseavam-se no conhecimento já consolidado da teoria clássica, entretanto não parecia ser suficiente para explicar os fenômenos atribuídos ao átomo.

Apresentaremos a seguir algumas dessas interpretações que trouxeram inovações para a Física e com elas, conflitos de interesses, “queda” de teorias e considerações arriscadas para descrição de uma configuração para o átomo. Iniciaremos com o trabalho de Thomson (1856-1940), depois com a interpretação de Nagaoka, partindo para a de Rutherford e por último com a proposta de Bohr e as contribuições dos modelos atômicos para a Física moderna.

### **3.1.2. O modelo atômico de Thomson**

#### **3.1.2.1. Um pouco de sua biografia**

Joseph John Thomson foi um dos grandes pesquisadores do final do século XIX e início do século XX, que dedicou seus estudos a compreensão da estrutura da matéria, trazendo importantes contribuições para as teorias atômicas desse período.

Thompson nasceu em Cheetham Hill, em 18 de abril de 1856 e faleceu em 30 de agosto de 1940, na cidade de Cambridge. Ainda muito jovem começou a cursar engenharia na Owens College na cidade de Manchester, onde viveu a maior parte de sua vida (HEILBRON, 1981, p.225).

Durante o período que ficou nessa instituição demonstrou interesse por Física, química, em especial pelas ligações químicas, e pelo modelo atômico de John Dalton (1766-1844). Na estadia nesse colégio recebeu influência de seus professores e teve contato com várias teorias da época, tal como a de James C. Maxwell (1831-1879) (LOPES, 2009).

Alguns anos depois tentou uma bolsa de estudos na Trinity College em Cambridge, tendo conseguido na segunda tentativa, no ano de 1886, onde continuou seus estudos em matemática e física. No tempo que esteve na Universidade, Thompson destacou-se como aluno, principalmente na área experimental, tanto que em 1884 assumiu a posição de professor de Física Experimental no laboratório Cavendish.

Em relação aos trabalhos realizados ele investigou bastante sobre os raios catódicos. Com estes estudos Thomson postulou que todos os elementos químicos da natureza seriam formados por unidades mil vezes menores que o átomo de hidrogênio (BAILY, 2008, p.6).

Thomson recebeu o prêmio Nobel de Física no ano de 1906 por suas investigações teóricas e experimentais sobre a condução elétrica em gases.

### 3.1.2.2. As Proposições de Thomson

Por estar inserido num meio repleto de novas ideias e de investigações na área que envolvia a estrutura da matéria, Thomson passou a considerar um misto de ideias para sua interpretação do átomo, como o átomo de Vortex de Kelvin, ímãs flutuantes de Mayer, combinações químicas, além das propriedades elétricas e magnéticas (LOPES, 2009).

Segundo Heilbron (1981), Thomson se preocupava muito em explicar as propriedades químicas dos elementos. Essas propriedades, presentes na tabela de Mendeleev seriam caracterizadas por suas ligações químicas, que poderiam ser investigadas partindo do pressuposto das ligações entre os átomos, que por sua vez formariam as moléculas.

[...] Numa de suas primeiras interpretações para explicar as ligações químicas, apresentada no ano de 1883 no livro intitulado “A Treatise on the Motion of Vortex Rings”, Thomson tentou explicar a natureza da matéria por meio da teoria do Vortex, que considerava o átomo como sendo formado por um conjunto de vórtices fechados no Éter. Para ele todas as propriedades da matéria no universo poderiam ser explicadas pelo movimento desse fluido, o Éter. Mas, apesar dos esforços de Thomson, este modelo não deu muito certo, uma vez que não explicava algumas características físicas do átomo, o qual se tornava cada vez mais complicado à medida que se aumentava o número de corpúsculos (LOPES, 2009, p.27).

Thomson propôs outro modelo em 1895, no artigo intitulado “Relation Between the Atom and the charge of Electricity carried by it”. No qual os átomos seriam compostos por pequenos girostatos. Nessa descrição a carga elétrica que se movimentava sobre o átomo seria positiva ou negativa de acordo com seu sentido de giro (BAILY, 2008).

Essa interpretação também não durou muito tempo, mas teve grande importância para os trabalhos futuros sobre a razão entre as cargas negativas e a massa das partículas do átomo, tanto empiricamente como nos cálculos matemáticos.

### 3.1.2.3. O átomo na visão de Thomson

Em meio as suas investigações, Thomson lançou um artigo em 1897, intitulado “On the Cathode Rays”, que lhe rendeu o prêmio Nobel de 1906. Nesse trabalho ele voltou-se para as propriedades subatômicas, baseando-se em dois trabalhos, um de Faraday relacionado à eletrólise e outro sobre o estudo de descargas com Gases em tubos.

Influenciado por esses estudos, respectivamente, Thomson partiu da ideia de que existiria uma unidade natural de carga elétrica e que existiriam partículas eletrizadas muito leves (HEILBRON, 1981).

Essas partículas, que pouco tempo depois foram denominadas elétrons, possuíam massa muito pequena. Thomson calculou a razão entre a massa dessas partículas e a massa conhecida na época para o átomo de Hidrogênio ou  $e/m$ . Essa razão ele descreveu como sendo a massa do elétron mil vezes menor que a massa do átomo de Hidrogênio. No mesmo ano, 1897, ele postulou que todos os elementos químicos da natureza seriam constituídos dessa unidade (MOREIRA, 1997, p.300).

Esses resultados, para a relação carga e massa, foram obtidos por meio de experimentos realizados por Thomson com tubos de raios catódicos<sup>2</sup>. Nesses experimentos ele utilizou 4 tipos diferentes de Gases e 3 tipos de metais para a constituição dos eletrodos (LOPES, 2009).

Nesses estudos Thomson mostrou bastante interesse na investigação da relação entre Matéria e Eletricidade. A partir das pesquisas sobre o assunto, ele escreveu no ano de 1903, um livro intitulado *Electricity and Matter* (Eletricidade e Matéria) que foi publicado em março de 1904, onde ele apresenta suas ideias sobre a constituição da matéria através de relações com a carga elétrica. Para ele cada carga elétrica seria constituída por um número finito de cargas individuais e iguais entre si, assim como o elemento Hidrogênio, que seria composto por uma série de átomos iguais (LOPES e MARTINS, 2009, p.9).

No final do mesmo ano Thomson publicou no *Philosophical Magazine* um artigo descrevendo suas ideias sobre a estrutura atômica constituída pelos corpúsculos (elétrons). Em sua descrição os átomos seriam compostos por uma série de corpúsculos carregados negativamente se movimentando em todas as direções numa esfera uniformemente positiva (MOREIRA, 1997).

Na descrição de Thomson os elétrons circulavam em anéis coplanares (no mesmo plano) dentro de uma esfera carregada positivamente. Este modelo apresentava uma grande estabilidade mecânica, algo que os modelos nucleares da época não possuíam.

Em seus cálculos para a frequência de oscilação do sistema (corpúsculos e carga positiva), Thomson conseguiu manter a estabilidade do anel com um número  $n$  de corpúsculos maiores que 5, ou seja,  $n > 5$ . Esta estabilidade só era conseguida devido à inserção de uma carga positiva central.

Nós temos primeiramente uma esfera positiva uniformemente eletrificada, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos, o número de corpúsculos varia de anel para anel: cada corpúsculo está girando em alta velocidade na circunferência do anel que está situado, e os anéis estão distribuídos de forma que os com maior número

---

<sup>2</sup> São descargas elétricas em tubos contendo gases rarefeitos. O estudo desse fenômeno se desenvolveu em meados do século XIX e está relacionado ao aperfeiçoamento de bombas de vácuo (Martins, 2012, p.21).

de corpúsculos estão próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles com menor número de corpúsculos estão mais internos [...] (THOMSON, 1904a, pp. 254-255, apud LOPES e MARTINS, 2009, p.6)

Nessa descrição Thomson apresenta uma interpretação dinâmica para o átomo, com elétrons descrevendo movimentos em todas as direções no interior de uma carga positiva e uniforme. Quanto maior o número de corpúsculos mais próximo do centro da esfera as cargas se aproximaram. No entanto, aparece um problema quando as esferas não estão no mesmo plano, pois desta maneira se organizariam em “cascas” concêntricas fazendo com que os corpúsculos ficassem em desequilíbrio.

Outro problema era manter uma disposição dos corpúsculos nos anéis com as forças que variam com o inverso do quadrado da distância, repulsivas entre os corpúsculos e atrativas com um ponto fixo, que nesse caso seria a carga positiva.

Para tentar explicar o problema Thomson utilizou a analogia com os imãs flutuantes investigados por Alfred Mayer, que na prática seriam agulhas imantadas e presas em discos de cortiça flutuando em água exercendo forças repulsivas entre si. Já a força atrativa seria representada por um imã colocado acima da superfície da água. Buscava-se com isso simular o movimento das cargas sobre a superfície da esfera carregada positivamente, e dessa forma perceber as possíveis configurações que poderiam ser geradas.

À medida que publicava novos trabalhos Thomson detalhava seu modelo tendo como base as ideias relacionadas principalmente às combinações químicas, troca de corpúsculos, valência, eletronegatividade e eletropositividade (LOPES e MARTINS, 2009).

Os termos eletronegatividade e eletropositividade são apenas relativos, e um elemento pode ser eletropositivo para uma substância e eletronegativo para outra. De acordo com considerações anteriores a valência de um elemento quando ele atua como o substituinte eletronegativo de um composto pode ter uma forma de valência muito diferente quando atua como constituinte eletropositivo. Vemos que a valência de um elemento não é uma quantidade constante; depende de saber se o elemento é o constituinte eletropositivo ou eletronegativo do composto [...] (Thomson, 1904, pp. 126-127, apud, LOPES, 2009, p.7).

Em seu modelo, Thomson tinha a preocupação de manter um equilíbrio no átomo que respeitasse à teoria da combinação química e da eletrodinâmica clássica, na busca de uma ligação entre os átomos. Essa preocupação, com as relações entre a estrutura da matéria e transformações químicas, fez com que o átomo de Thomson fornecesse uma base sólida para o desenvolvimento de áreas como a química quântica, físico-química e química orgânica (BAILY, 2008).

A proposta de Thomson de uma carga positiva ocupando o volume total do átomo tornou-se um ponto de partida para o desenvolvimento de um modelo de átomo estável com ênfase nas ligações e reações químicas, e que ainda hoje desempenham um papel importante.

O seu modelo teve grande impacto em sua época, no desenvolvimento de uma interpretação para a estrutura atômica, através de suas ideias que buscavam a conciliação entre a eletricidade e as leis da dinâmica. Apesar de tudo, seu modelo não era infalível sendo confrontado com outros, tanto que acabou sendo substituído posteriormente. Não por outro considerado melhor, mas por um que se adequou a investigações posteriores.

### **3.1.3. O modelo atômico de Nagaoka**

#### **3.1.3.1. A situação do Japão no final do século XIX e os primeiros trabalhos**

Enquanto a Europa vivia um grande crescimento nas pesquisas sobre vários fenômenos envolvendo a radiação e a compreensão da estrutura da matéria, numa atmosfera de criatividade com hipóteses que conciliavam diferentes ideias como os trabalhos já citados de Thomson e muitos outros ligados a Radioatividade. Países da Ásia como o Japão davam seus primeiros passos no desenvolvimento de métodos de pesquisa, crescimento e abertura de Universidades, envio de estudantes para o exterior e produção de tecnologias.

Nesse período, final do século XIX, o Japão passava por um período de relações comerciais muito intensas, que por mais de duzentos anos não haviam ocorrido. Durante esse período, a era Meiji, a civilização japonesa passou por uma reformulação científica e econômica que refletiram na evolução de diversos campos de conhecimento como a Física (LOPES, 2009).

Na década de 80 do mesmo século, muitas Universidades foram construídas tais como as Universidades imperiais de Tohoku, Kyushu e Hokkaido. Nos anos seguintes o Japão passou por uma evolução acentuada que ocasionou grandes investimentos na ciência que refletiram no crescimento da produção técnico-científica e no envio de cientistas para várias universidades da Europa (LOPES, 2009, p.50).

Um deles foi Hantaro Nagaoka (1865-1950), considerado um dos cientistas japoneses mais influentes do século XX. Nagaoka formou-se em Física pela Universidade do Tóquio no ano de 1887, onde foi professor por vários anos.

Seus primeiros trabalhos foram ligados à magnetização e magnetoestrição, com ênfase em observações relacionadas às moléculas e a estrutura dos metais<sup>3</sup>. Durante as últimas décadas do século XIX, ele viajou por países da Europa participando de palestras e encontros científicos. Nessas viagens, Nagaoka conheceu vários cientistas dentre os quais, Rutherford, Max Planck e Pieter Zeeman, Boltzmann entre outros. Nesse período, Nagaoka realizou investigações e representou a ciência Japonesa por várias regiões da Europa (FIOLHAIS e RUIVO, 1996).

Nesse período as pesquisas sobre radioatividade, que já vinham sendo investigadas há bastante tempo, ganharam destaque por uma série de trabalhos de pesquisadores como o casal Curie (MARTINS, 2012). No ano de 1900, estes trabalhos foram bastante discutidos no 1º congresso internacional de Física realizado em Paris, do qual Nagaoka participou e foram discutidas questões sobre a estrutura da matéria.

Provavelmente esse clima pode ter influenciado Nagaoka a investigar mais sobre a estrutura da matéria. Seu interesse maior nesse período era pelo estudo das faixas de espectros, procurando uma explicação para a ocorrência dessas faixas por meio de um sistema de oscilações que representasse o átomo, algo que também foi investigado por Thomson, mas que ficou sem explicação por um bom tempo e as que existiam não agradavam a maioria dos pesquisadores da época.

### 3.1.3.2. A interpretação de Nagaoka para o átomo

Com suas pesquisas sobre os espectros avançando, Nagaoka apresentou alguns de seus resultados à sociedade de Física e Matemática de Tóquio em 3 de dezembro de 1903, publicado no mesmo ano com o título de “Motion of particles in an ideal atom illustrating the line and band spectra and the phenomenon of radioactivity<sup>4</sup>” (LOPES, 2009).

No ano seguinte ele apresentou artigos semelhantes em duas revistas importantes da época, *Nature* e *Philosophical Magazine*. Nessa última Nagaoka explica seu modelo para o átomo da seguinte forma:

[...] O sistema que vou discutir consiste num elevado número de partículas de massa igual, dispostas num círculo a intervalos angulares e regulares, repelindo-se com forças inversamente proporcionais ao quadrado das distâncias; no centro do círculo coloca-se uma partícula de massa elevada, atraindo as outras de acordo com a mesma lei da força. Se as partículas

<sup>3</sup>Mais detalhes sobre o assunto estão disponíveis em: <http://www.japanese-greatest.com/technology/atomic-model.html>.

<sup>4</sup>“Movimento de partículas num átomo ideal explicando os espectros de banda e linhas e o fenômeno da radioatividade”

orbitarem aproximadamente com a mesma velocidade em torno do centro de atração, o sistema permanecerá estável, em geral, se a força atrativa for suficientemente grande [...] (In Philosophical Magazine 7 (1904) 445, apud FIOLEHAS e RUIVO, 1996, p.4).

Nessa estrutura imaginada por Nagaoka, bem diferente do modelo descrito por Thomson, o átomo teria corpúsculos girando numa espécie de anel ao redor de um centro de massa, que exerceria uma força atrativa mantendo a estabilidade no átomo. No entanto, existia uma dificuldade em relação ao movimento das partículas, uma vez que ao movimentarem-se provocariam a perda de energia na forma de radiação.

Nagaoka estava ciente desse problema e mesmo assim continuou seguindo seus trabalhos com esse modelo, que ficou conhecido como modelo de Saturno. Um dos motivos dessa insistência estava relacionado à concordância entre as previsões e os valores experimentais. Para ele, Nagaoka, os problemas poderiam ser solucionados com o estudo cada vez mais aprofundado da estrutura da matéria (FIOLEHAS e RUIVO, 1996).

Até certo ponto o modelo de Nagaoka era satisfatório, no entanto, existia uma frágil estabilidade no movimento simétrico das partículas em torno do núcleo, qualquer perturbação das cargas ocasionaria um colapso no átomo. Isso poderia ocorrer, por exemplo, quando algum tipo de radiação suficientemente grande incidisse sobre o átomo. Não obstante, Nagaoka acreditava que as vibrações dos elétrons poderiam explicar características de fenômenos ligados à espectroscopia e a radiação, além do efeito Zeeman.

Na visão de Nagaoka, alguns dos espectros de bandas poderiam estar relacionados ao movimento vibratório dos elétrons, que provocariam a vibração do núcleo positivo do átomo Saturniano. Se esse movimento fosse muito intenso poderia provocar a desintegração radioativa, fenômeno que seria muito comum em elementos de massa atômica elevada como o Rádío, dando origem aos raios  $\alpha$  (provocados pelo movimento da carga positiva central) e  $\beta$  (provocadas pela quebra dos anéis onde estariam situados os elétrons) (LOPES, 2009).

Por suas ideias, Nagaoka recebeu várias críticas. Um dos pesquisadores que mais criticou o seu trabalho foi George Augustus Schott (1868-1937), sobretudo no que diz respeito à neutralidade do modelo Saturniano.

Para Schott existiriam inconsistências no modelo quando se considerava a distribuição das partículas (elétrons) nos anéis descritos por Nagaoka, que dependendo do número de elétrons não seria possível uma estabilidade, principalmente para elementos pesados como o Rádío (LOPES, 2009).

Em defesa de seu modelo Nagaoka publicou outros artigos afirmando que Schott estava analisando o átomo Saturniano numa visão diferente da sua. Para ele, existiriam indícios de que o átomo seria achatado, enquanto Schott analisava um modelo totalmente esférico. Ele também “acreditava que seu modelo seria uma boa maneira de investigar a estrutura da matéria e que poderia realmente representar a natureza” (FOILHAIS e RUIVO, 1996).

Thomson foi outro pesquisador que não aceitou o modelo de Nagaoka, em virtude da instabilidade das oscilações que cresceriam à medida que os elétrons orbitavam em torno de um ponto de equilíbrio, causando o desmembramento do átomo.

Segundo Lopes (2009), alguns anos depois Nagaoka abandonou seu modelo, retornando ao estudo da espectroscopia e as relações com a estrutura da matéria.

### 3.1.3.3. As principais diferenças entre o modelo de Nagaoka e Thomson

Ao observarmos o modelo de Nagaoka e a proposta de Thomson são evidentes as diferentes naturezas de interpretação. Primeiramente em termos estruturais, que na visão de Thomson o átomo deveria possuir cargas elétricas negativas próximas umas das outras com movimentos em várias direções sobre uma carga positiva bem maior, enquanto que para Nagaoka o átomo teria um núcleo impenetrável ao redor do qual as partículas negativas estariam se movimentando em anéis sucessivos, que poderiam variar de acordo com o número de elétrons.

Em segundo lugar temos as diferentes visões em relação às propriedades elétricas. Enquanto Thomson conseguiu ter mais êxito com seu modelo na explicação de vários fenômenos como a dispersão dos raios-X, emissão de radiação, etc. Nagaoka não conseguiu o mesmo com seu estudo, principalmente por não sustentar a ideia do movimento dos elétrons e o equilíbrio das forças elétricas com o núcleo.

Apesar dessas discordâncias, os modelos tanto de Thomson quanto de Nagaoka foram de grande importância para a interpretação das propriedades espectroscópicas dos elementos e sua relação com o momento angular e a estrutura da matéria. As pesquisas desenvolvidas por eles serviram de base para muitos trabalhos sobre o átomo, que culminaram no surgimento dos modelos da mecânica quântica (LOPES, 2009).

### 3.1.4. A proposta de Ernest Rutherford para o átomo

#### 3.1.4.1. Informações biográficas

Considerado um dos pioneiros nos estudos da radiação e física nuclear do início do século XX, Ernest Rutherford teve uma história de vida muito interessante, marcada pela dedicação a ciência e incentivo a educação científica.

Nascido em 30 de agosto de 1871, na cidade de Nelson, Nova Zelândia, Rutherford fez parte de uma família grande de poucas condições financeiras, tendo estudado em escolas públicas até os 16 anos, quando conseguiu uma bolsa de estudos na Canterbury College em Christchurch. Após quatro anos nessa instituição recebeu as titulações de graduação (B.A.) e pós-graduação (M.A), destacando-se principalmente por suas habilidades matemáticas<sup>5</sup>.

Suas primeiras pesquisas, ainda na Nova Zelândia no New Zealand Institute, entre os anos de 1894 e 1895, concentraram-se nas propriedades magnéticas do Ferro exposto a descargas elétricas de alta frequência e viscosidade magnética, que lhe renderam seus primeiros artigos. No segundo semestre de 1895, Ernest conseguiu uma bolsa de estudos para uma Universidade da Inglaterra, na qual ele escolheu Cambridge, onde teve a oportunidade de trabalhar como assistente de Thomson no laboratório Cavendish.

Habilidoso com atividades experimentais e com a matemática, Rutherford conseguiu chamar a atenção de Thomson, que o chamou para trabalhar em suas pesquisas sobre cargas elétricas em gases e com os Raios X, que haviam sido descobertos por Wilhelm Röntgen (1845-1923) no mesmo ano de 1895.

A parceria deu certo e rendeu publicações em revistas importantes da época como a *Philosophical Magazine*, estabelecendo uma amizade e colaboração profissional que durou por toda vida dos dois (LOPES, 2009).

Após a temporada em Cambridge, Rutherford foi para Montreal, no Canadá, em 1898, para trabalhar na Universidade de McGill, que dispunha na época de amplas oportunidades para a pesquisa na área de radiação. Nessa Universidade juntamente com o químico Inglês Frederick Soddy (1887-1956), no Laboratório Macdonald, Rutherford desenvolveu seus estudos sobre as radiações emitidas pelo Urânio, classificando-as como radiação  $\alpha$  e  $\beta$ , além de identificar a radiação gama e propor a teoria de desintegração radioativa<sup>6</sup>.

Por essas investigações Ernest foi laureado com o prêmio Nobel de química em 1908, ano em que já tinha pedido dispensa de McGill e retornara para Cambridge, onde assumiu o cargo de diretor do Laboratório de Física de Manchester (LOPES, 2009).

---

<sup>5</sup>NOBELPRIZE, Ernest Rutherford - Biographical. Disponível em:  
[http://www.nobelprize.org/nobel\\_organizations/nobel\\_foundation/publications/lectures/index.html](http://www.nobelprize.org/nobel_organizations/nobel_foundation/publications/lectures/index.html)

<sup>6</sup>*Ibid*, p.2

Na Inglaterra Rutherford trabalhou com Hans Geiger (1882-1945) numa investigação detalhada do comportamento da matéria ao ser atingida por diferentes tipos de radiação conhecidas na época<sup>7</sup>. De acordo com Lopes (2009), essas investigações tiveram um papel fundamental para a proposta de Rutherford de um modelo atômico em 1911.

Por suas contribuições para a ciência, ele foi premiado por várias instituições, recebendo o título de Lorde na Inglaterra (1914), barão de Nelson na Nova Zelândia (1931), Medalha Rumford (1905) e a Medalha Copley (1922) da Royal Society, o Prêmio Bressa (1910) da Academia de Ciências de Turim<sup>8</sup> etc. Durante sua estadia tanto em Londres como no Canadá, auxiliou um grande número de jovens pesquisadores que posteriormente desenvolveram trabalhos notáveis para a Física e para a química.

Rutherford faleceu em Cambridge no dia 19 de outubro de 1937 e suas cinzas foram enterradas na Abadia de Westminster em Londres, a oeste do túmulo de Sir Isaac Newton.

### 3.1.4.2 O Modelo Atômico de Rutherford

Como já citamos acima, Rutherford tinha um interesse acentuado nos fenômenos envolvendo as partículas  $\alpha$ , publicando vários trabalhos entre os anos de 1908-1909, e pesquisas importantes realizadas em Montreal e retomadas em Londres. Nesses locais, Ernest teve o auxílio de jovens pesquisadores que desenvolveram trabalhos de grande relevância a respeito dos fenômenos.

É importante destacarmos esse trabalho em conjunto, uma vez que, geralmente quando se fala no nome de Rutherford remete-se de imediato apenas a “descoberta” do núcleo atômico ou ao modelo atômico de Rutherford. Quando na verdade deve-se ter em mente a contribuição de toda uma equipe e de todo um aparato desenvolvido por Ernest e seus colaboradores para que fosse possível o desenvolvimento de importantes pesquisas.

Um dos maiores exemplos disso ocorreu na parceria entre Rutherford, Hans Geiger (1882-1945), e o jovem estudante de Graduação de Manchester, Ernest Marsden (1889-1970), juntos elaboraram métodos para a análise do comportamento das partículas  $\alpha$  e  $\beta$  ao serem lançadas sobre diferentes tipos de metais (MARSHALL, 2010).

Durante as pesquisas, realizadas entre os anos de 1908 e 1910, Geiger e Marsden conseguiram construir aparatos experimentais que lhes auxiliaram na obtenção de resultados interessantes, principalmente com as partículas  $\alpha$ . No decorrer das investigações eles

---

<sup>7</sup>RUTHERFORD'S. Nuclear Word. Disponível em:  
<http://www.aip.org/history/exhibits/rutherford/sections/alpha-particles-atom.html>.

<sup>8</sup>*Ibid*, p.3

utilizaram pequenos ângulos de dispersão e diferentes espessuras de chapas, na busca de uma relação matemática entre a dispersão sofrida pelas partículas e o número de átomos por espessura da chapa.

No ano de 1909 ao bombardearem várias lâminas finas de metais, em especial, uma lâmina de ouro, identificaram um resultado que os surpreendeu, comunicado imediatamente a Rutherford, o qual já havia lhes aconselhado a bombardearem as laminas de metal com as partículas alfa, e que relatou sua reação do fenômeno da seguinte forma:

Eu me lembro[...] depois Geiger vindo até mim com grande excitação e dizendo: "Temos sido capazes de obter algumas das partículas  $\alpha$  retornando para trás [...]" "Foi de longe o evento mais incrível que já aconteceu na minha vida. Era quase incrível como se você disparasse uma bala de 15 polegadas em um pedaço de papel de seda e ela voltasse e batesse em você" (RUTHERFORD, E, 1938, p. 38, apud Rutherford's Nuclear World – A Story Commemorating the 100th Anniversary of the Discovery of the Atomic Nucleus).<sup>9</sup>

Os resultados dos experimentos mostravam que durante o fenômeno de espalhamento ocorriam alguns desvios nas partículas alfa com ângulos de reflexão com valores menores que 90°. Segundo Geiger, esses resultados tornavam-se mais expressivos de acordo com o peso atômico do material. Para o caso de espessuras acentuadas e espalhamento aumentava rapidamente ocasionando a diminuição da velocidade das partículas (LOPES, 2009).

Os resultados desses diversos experimentos ocasionaram a publicação de artigos por Geiger e Marsden, que relatavam detalhadamente os fenômenos ocorridos e possíveis explicações, mas a origem dos desvios que os surpreenderam ainda deixava dúvidas (MARSHALL, 2010).

Em meio a essas publicações, Rutherford mostrou-se bastante entusiasmado com o fenômeno e encontrou uma forma de relaciona-lo a pesquisas que já vinha realizando sobre a estrutura do átomo.

Trabalhando novamente com Marsden e Geiger, entre os anos de 1910-1911, Rutherford refez detalhadamente os experimentos com as partículas  $\alpha$  e tentou reconciliar os resultados com diferentes modelos para o átomo, em especial o modelo de Thomson.

No inverno de 1911, Ernest trabalhou com a ideia de um átomo contendo uma “carga central” e em maio do mesmo ano apresentou um trabalho na *Philosophical Magazine*, no qual discutia a ideia de que uma partícula maciça só poderia sofrer um desvio como os observados nos experimentos, se a maior parte da massa de um átomo como, por exemplo, os

---

<sup>9</sup> *Ibid.* p.4

que compõem o elemento Ouro, tivessem uma carga central muito pequena, que Rutherford ainda não chamava de “núcleo”<sup>10</sup>.

Em suas investigações, Rutherford identificou discrepâncias na análise do espalhamento tomando como referência o modelo de Thomson, dessa forma ele passou a considerar sua ideia de uma carga central.

[...] Ao comparar a teoria descrita no presente documento com os resultados experimentais, foi possível supor que o átomo consiste de uma carga central... e de que as deflexões das partículas são principalmente devido à sua passagem através do forte campo central [...] (RUTHERFORD, E, *Philosophical Magazine*, 1911, p.686).

Ao contrário do que se encontra em muitos livros texto hoje, ele não chegou a afirmar que essa carga fosse positiva, mais sim que poderia ser negativa ou positiva. Além disso, ele fez uma comparação entre o núcleo atômico ao ser atingido por uma partícula e o comportamento de um cometa ao se aproximar do Sol. Ele também considerou o modelo de Nagaoka, no que diz respeito ao movimento dos anéis de elétrons atraídos por uma massa central<sup>11</sup>.

No entanto, Rutherford não explicou seu modelo para o átomo tomando como base os elétrons e sim a deflexão das partículas radioativas, devido a uma massa central, sendo ela positiva ou negativa, com cargas descrevendo um movimento circular com órbitas crescentes em torno do núcleo<sup>12</sup>.

Nesse período existia uma rejeição a modelos nucleares como o de Rutherford em virtude da instabilidade eletrônica, que fora mostrada por Thomson, e estava ligada principalmente a simetria de distribuição das cargas (LOPES, 2009, p.92).

Segundo Lopes (2009), isso fez com que o modelo atômico de Rutherford não gerasse muitas discussões, especialmente se levarmos em conta que ele não dava muita ênfase aos elétrons, os quais eram considerados como foco das investigações sobre a estrutura do átomo nessa época.

O modelo de Rutherford só entrou em cena realmente com a apresentação das pesquisas realizadas pelo jovem dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), que teve um papel importante no desenvolvimento dos estudos da estrutura da matéria e sofreu grande influência dos trabalhos de Rutherford e de outros pesquisadores do início do século XX.

---

<sup>10</sup>*Ibid*, p. 3

<sup>11</sup>*Ibid*, p.4

<sup>12</sup>Por essa e por outras características são feitas analogias do modelo de Rutherford com o Sistema Solar.

### 3.1.5. A interpretação de Niels Bohr

#### 3.1.5.1. Um pouco de sua trajetória

Nascido em 7 de outubro de 1885, na cidade de Copenhague, Niels Henrik David Bohr viveu numa família que incentivava a educação e o esporte. Seu pai, Christian Bohr, professor de Fisiologia da Universidade de Copenhague, foi um grande incentivador de seus estudos, em especial sobre Física. Em sua casa, Christian gostava de realizar conversas com colegas da Universidade sobre vários temas, desde os ligados a sua área de atuação até questões envolvendo filosofia, Física, etc.<sup>13</sup>.

[...] Nesse ambiente Bohr cresceu e tornou-se um estudante muito dedicado aos estudos, que foram desenvolvidos quando ele ingressou na Universidade de Copenhague, mesma instituição onde seu irmão– Harald Bohr – considerado um brilhante matemático, também estudou (LOPES, 2009, p.118).

Nessa Universidade, Bohr destacou-se como pesquisador, tornando-se um físico original e dedicado, conseguindo as titulações de Mestre (1903) e Doutor (1911). Suas investigações iniciais tiveram um caráter tanto empírico como teórico, destacando-se um trabalho sobre a tensão superficial de líquidos, pelo qual foi premiado em 1908<sup>14</sup>.

Nos trabalhos de Mestrado e Doutorado, seus esforços estiveram voltados para investigações sobre as propriedades Físicas dos metais, através da teoria dos elétrons, proporcionando a Bohr o contato com a teoria de quantização do físico alemão Max Planck (1858-1947), que foi posteriormente tomada como um possível caminho na solução de problemas teóricos enfrentados por Bohr em suas pesquisas sobre radioatividade.

[...] No segundo semestre de 1911, após defender sua tese, Bohr resolveu continuar os estudos num dos maiores centros de pesquisa da época, o Laboratório Cavendish, que estava sob a orientação de Thomson. Bohr conhecia o trabalho de Thomson e admirava bastante o cientista, no entanto o clima entre os dois não foi muito agradável. Logo de início Bohr apontou um erro no livro de Thomson, fazendo com que a relação entre os dois não durasse muito (ABDALLA, 2005, p. 32).

Mesmo assim Niels continuou suas pesquisas no Laboratório Cavendish, tendo a oportunidade de conhecer pesquisadores como Marsden e Geiger, com os quais manteve contato durante muito tempo.

<sup>13</sup> NOBELPRIZE. **Niels Bohr – Biographical**. Disponível em:

[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1922/bohr-bio.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1922/bohr-bio.html). Acesso em 10 janeiro de 2013.

<sup>14</sup> *Ibid*, p.1

No final de 1911, após as pesquisas no Laboratório, Bohr conheceu Rutherford com quem manteve correspondência iniciando uma amizade muito grande. No ano seguinte Bohr muda-se para a cidade de Manchester no intuito de trabalhar com Rutherford. Ali, seus estudos sobre radioatividade foram intensificados, com a realização de experimentos sobre a perda de energia das partículas  $\alpha$  ao serem absorvidos por metais.

Nesse período Bohr também ampliou seus conhecimentos acerca do modelo atômico de Rutherford, e desenvolveu as bases para a construção de seus trabalhos sobre a estrutura da matéria, apresentados na *Philosophical Magazine* em 1913. Nesses trabalhos, Bohr estabelece uma teoria atômica fundamental para o progresso do campo da Física ligado a espectroscopia e a “misteriosa Física quântica” que começava a dar seus primeiros passos (KRAGH, 2012, p.1). Nos anos posteriores, Bohr fez várias publicações e palestras por todo o mundo, deixando como legado um vasto conhecimento.

Como resultado de suas contribuições para a Física Bohr recebeu vários prêmios, inclusive o Nobel de Física de 1922, “por seus serviços na investigação da estrutura dos átomos e da radiação emanada por eles”<sup>15</sup>. Durante suas pesquisas sofreu a influência dos trabalhos de vários outros cientistas, além de possuir uma visão muito tradicional da Física, que deveria partir acima de tudo da Teoria Clássica para interpretar a natureza.

Além de cientista, Bohr foi um grande pacifista, ministrando várias palestras pelo mundo sobre os usos da ciência em especial das potencialidades da recém “descoberta” Física quântica. Faleceu aos 77 anos em sua cidade natal, ficou conhecido em vários países e é considerado um dos mais influentes cientistas do século XX.

### 3.1.5.2. Novas características para o átomo

Na primavera de 1912, Niels Bohr começou a trabalhar no laboratório de Rutherford, onde desenvolveu pesquisas sobre a absorção de raios  $\alpha$ , que lhe renderam três publicações, na *Philosophical Magazine*, todas no ano de 1913, uma em julho, outra no mês de setembro e uma terceira em novembro. Esses trabalhos fizeram parte de uma trilogia “Sobre a constituição de átomos e moléculas” (LOPES, 2009).

Em cada um desses trabalhos, Bohr mostra a forte influência que sofrera durante suas investigações, desde os resultados das pesquisas sobre espalhamento das partículas  $\alpha$  aos estudos de Max Planck sobre a radiação do corpo negro, e especialmente a influência teórica do modelo atômico de Rutherford.

---

<sup>15</sup>*ibid*, p.3

No primeiro artigo, Bohr faz uma pequena discussão sobre os modelos atômicos de Thomson e Rutherford. No decorrer do trabalho, ele apresenta uma preocupação com a coerência entre as previsões destes modelos e os valores encontrados experimentalmente. Bohr também chama a atenção para a necessidade de uma explicação mais completa a respeito das dimensões do átomo, destacando a importância do modelo de Rutherford como referência para explicar os resultados das experiências de dispersão com os raios  $\alpha$ . Embora soubesse do colapso proveniente da instabilidade deste modelo (BOHR, 1922).

Bohr era um defensor do modelo de Rutherford e tentava aperfeiçoá-lo, mesmo sabendo da excelente estabilidade e coerência da interpretação de Thomson, quando comparada com os valores obtidos experimentalmente.

[...] a principal diferença entre os modelos atômicos propostos por Thomson e Rutherford consiste na circunstância de que as forças que atuam sobre os elétrons no modelo de Thomson permitem certas configurações e movimentos dos elétrons para os quais o sistema está em equilíbrio estável; todavia, para o segundo modelo não existem aparentemente tais configurações (BOHR, *Philosophical Magazine*, 1913, p.2).

Apesar da instabilidade eletrônica do modelo de Rutherford ser uma grande dificuldade, existia nele um núcleo que continha a maior porção de massa do átomo, fato que, como vimos anteriormente, já havia sido observado pelo próprio Rutherford e seus assistentes e que era inexistente no modelo de Thomson.

Sustentado nessa característica, Bohr tentou superar a instabilidade do modelo nuclear, assumiu que uma nova interpretação deveria ser desenvolvida<sup>16</sup>. Em sua concepção, o caminho estaria nos processos de emissão (e de absorção) de energia no sistema dinâmico de Rutherford, que deveria ocorrer de forma descontínua, conforme a teoria da radiação de Planck (Bohr, 1922, p.15). Essa consideração foi essencial para que Bohr estabelecesse as bases de uma nova visão para as características do átomo. Como referencial teórico ele utilizou o espectro de emissão do hidrogênio, por considera-lo mais simples.

Estudando o espectro e considerando a teoria de Planck, Bohr analisou os sistemas nucleares por meio de estados estáveis de energia ou estados “estacionários”, que caracterizariam as órbitas descritas pelos elétrons em torno do núcleo. Dessa forma, o átomo se manteria em equilíbrio evitando o colapso do modelo de Rutherford.

Bohr explica que essa estabilidade só é perturbada quando o sistema (elétrons e núcleo) sofre algum tipo de interação, por exemplo, um processo em que os elétrons sejam

---

<sup>16</sup>Nesse período existia uma grande discussão sobre as dimensões do átomo, que ganhavam destaque nas pesquisas de radioatividade, calor específico dos corpos e corpo negro (LOPES, 2009, p.128).

forçados, por algum tipo de perturbação energética, a saírem de sua órbita de origem. A partir daí será estabelecido um novo estado de equilíbrio com a irradiação ou absorção de energia por parte do elétron (BOHR, 1913).

O problema é que esse processo não ocorreria conforme a eletrodinâmica clássica, onde a energia seria irradiada de forma contínua. Para Bohr isso deveria acontecer em emissões distintamente separadas de energia. Ele deixa claro essas questões em seu primeiro artigo da trilogia:

- (1) Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários pode ser discutido com a ajuda da mecânica clássica, enquanto a passagem dos sistemas entre diferentes estados estacionários não podem ser tratados com base nisso.
- (2) Que o último processo é seguido pela emissão de uma radiação homogênea, para o qual a relação entre a frequência e a quantidade de energia emitida é representada pela teoria de Planck. (BOHR, 1913, p.5).

Mediante essas considerações, Bohr introduziu a constante de Planck em sua interpretação – algo que já havia sido tentado por outros cientistas – supondo que o átomo se comportava como um oscilador harmônico (LOPES, 2009, p.130).

A teoria de Planck trata da emissão e absorção da radiação por um oscilador harmônico... sendo incoerente com a teoria de Rutherford... para se aplicarem os principais resultados obtidos por Planck é, portanto, necessário introduzir novas hipóteses sobre a emissão e absorção de radiação por um sistema atômico (BOHR, 1989, p.96, apud PEDUZZI, 2008, p.180).

Ciente de que modificações deveriam ser feitas, Bohr desenvolveu uma nova interpretação para o átomo baseada em algumas ideias fundamentais, que faziam um misto entre a mecânica clássica e conceitos de quantização.

### 3.1.5.3. As considerações fundamentais do “programa”: um novo olhar para a matéria

Após intensas discussões experimentais e teóricas, com a publicação dos dois primeiros artigos, Bohr apresenta na última parte da sua trilogia as considerações essenciais que sustentaram suas ideias, caracterizadas por meio de cinco postulados:

- (1) Que a energia não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado “estacionário” para outro diferente;

- (2) Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando estas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários;
- (3) Que é homogênea a radiação emitida durante a transição de um estado estacionário para outro, e que a relação entre a frequência  $\nu$  e a quantidade total de energia emitida é dada por  $E = h\nu$ , sendo  $h$  a constante de Planck;
- (4) Que os diferentes estados estacionários de um sistema simples constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$  a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron. Admitindo que a órbita do elétron é circular, essa hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$ ;
- (5) Que o estado “permanente” de um sistema atômico – isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima – é determinado pela condição de ser igual a  $h/2\pi$  o momento angular de cada elétron em torno do centro da sua órbita (BOHR, 1913, pp. 874-875, apud. LOPES, 2009, p.138).

Com estes postulados, Bohr sugeriu propriedades para o átomo que iam contra o que se conhecia na Física até então. Ele contrariou a teoria eletromagnética clássica, sugerindo que o elétron poderia circular o núcleo atômico descrevendo órbitas estacionárias sem emitir nenhuma radiação.

Para Bohr existia uma energia definida, que estava associada com cada órbita estacionária, e que só se irradiaria quando o elétron fizesse a transição de uma órbita para outra. Essa energia obedeceria a seguinte relação.

$$h\nu = E_i - E_f$$

Ao apresentar tais características, Bohr se arriscou de certa forma, uma vez que as questões ligadas à quantização ainda eram inconsistentes. Não obstante, suas ideias vingaram e aos poucos foram evoluindo. Esse fato, segundo Lopes (2009), pode ter ocorrido devido à base dos cálculos e das conclusões de Bohr estar assentada sobre a mecânica clássica.

Por meio dessa base e tendo como referência o modelo de Rutherford, Bohr apresentou um novo olhar para o átomo e para a constituição das moléculas:

[...] De acordo com a teoria sobre a estrutura dos átomos de Rutherford, a diferença entre o átomo de um elemento e a molécula de uma combinação química é que o primeiro é formado por um aglomerado de elétrons

rodeando um único núcleo de dimensões extremamente pequenas e de massa grande em comparação com a dos elétrons, enquanto a última contém pelos menos dois núcleos a distâncias um do outro comparáveis com as distâncias que separam os elétrons no aglomerado que os envolve [...] (BOHR part.III, 1913, p.857, apud LOPES, 2009, p.140).

[...] Com essas características Bohr obteve êxito ao fazer aplicações de sua teoria no estudo de combinações do átomo de hidrogênio em moléculas diatômicas e na explicação das séries espectrais calculadas por Johann Balmer (1825- 1898). Além disso, forneciam uma sólida fundamentação para a explicação das propriedades químicas dos elementos (HEILBRON, 1981, p.14).

No entanto, existem problemas com a proposta de Bohr. Quando tentava-se estender os cálculos para átomos com mais de um elétron, como átomo de Hélio, não se obtinha êxito. Outro problema acontecia quando se tentava aplicar a teoria de Bohr para as transições entre os níveis de energia. Nesse momento percebia-se que as velocidades angulares dos elétrons nas órbitas não eram iguais às frequências angulares da radiação emitida, ou seja, havia um problema na relação entre emissão de energia e o momento angular.

Esses problemas geraram muitas discussões entre físicos e químicos da época, ocasionando a publicação de vários artigos, em diferentes partes da Europa – Inglaterra, Alemanha, Holanda e Itália – com opiniões contra e a favor das hipóteses de Bohr, além das fortes críticas do influente Thomson e de John William Nicholson (1881-1955), um excelente pesquisador da época, que pouco tempo antes de Bohr havia proposto outro modelo para o átomo (LOPES, 2009). As críticas de Nicholson, em especial, renderam bastante mais especificamente durante dois anos seguidos.

Essas discussões ocorriam num dos maiores espaços para debates científicos da época, a revista *Nature*. Nesse ambiente, Nicholson criticava muitas vezes de forma irônica os trabalhos de Bohr, considerando-os inconsistentes, incompletos e que não poderiam explicar a real estrutura da matéria. Além disso, não faziam o uso correto da mecânica newtoniana (LOPES, 2009). Outros pesquisadores se envolviam na discussão, concordando com Nicholson ou defendendo Bohr, que só respondeu as críticas no ano de 1915, com a apresentação de alguns resultados experimentais sobre espectroscopia.

O mais interessante nisso tudo é que o desenvolvimento das hipóteses de Bohr ocorreu, principalmente por causa dos trabalhos do próprio Nicholson sobre os átomos das estrelas e seus espectros (LOPES, 2009).

Contudo, o trabalho de Bohr influenciou bastante no desenvolvimento das teorias atômicas, colaborando para a introdução de conceitos novos, que foram aperfeiçoados por vários outros cientistas, levando a ampliação e consolidação de um novo ramo da Física, a teoria quântica.

#### 3.1.5.4. Considerações sobre os modelos e as contribuições para uma teoria em ascensão

A história da ciência é marcada por acontecimentos que causaram modificações impressionantes na visão do ser humano sobre a natureza. Geralmente estes acontecimentos estão ligados a inovações em território consolidado, constituindo uma tarefa difícil e muitas vezes perigosa. Nesse meio alguns pesquisadores têm a coragem para seguir em caminho desconhecido enfrentando obstáculos que vão contra o que conhecem. Por outro lado, existem aqueles que oferecem resistência a mudanças e preferem se manter no conhecimento bem estabelecido. Esse conflito de interesses gera muitas discussões que contribuem de várias formas para a evolução da ciência.

O episódio de desenvolvimento dos modelos atômicos entre o final do século XIX e início do século XX constitui um bom exemplo disso. Apresentados aqui de forma breve, eles representaram avanços na forma de se interpretar a constituição da matéria. Com ideias conservadoras ou com a introdução de características audaciosas, cada modelo deu sua contribuição teórica e/ou experimental para o conhecimento do átomo.

Partindo da interpretação de Thomson vimos uma das primeiras explicações para as configurações das cargas elétricas no átomo com características dinâmicas, que priorizavam o equilíbrio elétrico do átomo. Esse modelo trouxe subsídios para a compreensão química dos elementos, apesar da complexa distribuição das cargas elétricas sobre a “grande” carga positiva.

Praticamente na mesma época do modelo de Thomson, Nagaoka divulgou outra interpretação para o átomo, com características bem diferentes, especialmente estruturais, descrevendo cargas elétricas pairando numa densa nuvem de elétrons. Essa interpretação conseguiu acrescentar ao átomo uma configuração interessante, que até certo ponto foi bem-sucedida, mas não conseguiu manter uma estabilidade entre as forças elétricas, e por esse motivo, em especial, acabou sendo bastante criticada.

Por outro lado, o modelo de Thomson, mesmo com dúvidas quanto a algumas propriedades, foi utilizado em grande escala na Física e principalmente na química. Podemos

dizer que com seu modelo e com os trabalhos sobre eletricidade sua reputação cresceu consideravelmente.

Em meio a essas intensas investigações, o estudo da radioatividade crescia cada vez mais trazendo contribuições para diversas áreas do conhecimento, como a química e medicina. As pesquisas sobre radioatividade proporcionaram a exploração do núcleo atômico e a evolução dos métodos e aparatos experimentais, que foram ampliados em centros de pesquisa como os laboratórios Cavendish e McGill.

Nesses centros de investigação novas gerações de pesquisadores trouxeram diferentes olhares para a estrutura da matéria. Rutherford e seus jovens colaboradores Hans Geiger e Ernest Marsden fizeram parte disso, através das investigações sobre radioatividade, que iniciaram o vasto ramo da Física nuclear.

Através dessas investigações, Rutherford apresentou uma nova perspectiva para átomo. Todavia sua teoria apresentava problemas sérios de eletrodinâmica, que deixaram seu modelo frágil perante as críticas e o tornaram praticamente desprezado no cenário científico de sua época.

Ironicamente o modelo de Rutherford foi um dos pontos de partida para a interpretação de Niels Bohr, que mudaria a visão da época sobre a estrutura da matéria.

Em sua descrição para o átomo, Bohr fez a junção entre o instável modelo de Rutherford e as ideias de quantização de Planck. Apesar disso, já ter sido feito antes, a teoria de Bohr obteve uma atenção maior, sobretudo devido aos seus postulados e a explicação dos espectros de alguns elementos.

Com o sucesso vieram as críticas, concentradas nas limitações significativas do modelo ao ser utilizado para explicar fenômenos envolvendo os elétrons bem como nos fracassos ao estendê-lo para átomos com mais de um elétron.

Apesar disso, as contribuições do modelo de Bohr foram notáveis na compreensão da distribuição eletrônica do átomo. As questões envolvendo órbitas e quantização de energia levantaram discussões sobre possíveis mudanças na maneira de interpretar o átomo. A teoria clássica passou a ser questionada como única forma de explicar os fenômenos atômicos.

Esses questionamentos abriram espaço para a teoria quântica que dava os seus primeiros passos rumo a novos conhecimentos sobre a estrutura da matéria, com interpretações cada vez mais complexas, que atribuíram às partículas subatômicas características tanto ondulatórias como corpusculares, dando um caráter probabilístico à Física que existe até hoje.

Isso foi possível devido não só ao modelo de Bohr, mas a todas as controvérsias, discussões e diferentes caminhos trilhados por pesquisadores e suas teorias desenvolvidas durante vários anos de investigação.

Todo esse caminho evoluiu, não por um aglomerado de trabalhos que apontavam numa única direção, mas por diferentes pontos de vista, que levaram ao desenvolvimento de várias interpretações. Tanto é que existiram outros modelos além dos apresentados por nós que também tiveram sua importância histórica e conceitual para o desenvolvimento dos estudos sobre o interior da matéria. A escolha que fizemos dos que foram mencionados se deu devido à presença nos livros didáticos e de ensino superior.

Esse jogo de interesses faz parte de qualquer área da ciência e constitui uma característica que contribui para a evolução do conhecimento. É importante ficarmos atentos a isso, uma vez que a ciência não é construída apenas pelos trabalhos que deram certo e sim por uma complexa teia de eventos, conectados ou não. Dessa forma, devemos ficar atentos às informações que cercam episódios como os que envolvem os modelos atômicos.

O texto que estudamos pode ajudar nessa tarefa servindo de base para o estudo de características importantes dos modelos atômicos que geralmente são omitidas ou distorcidas nos livros texto.

#### **4. A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E A ESTRATÉGIA ADOTADA**

Um dos grandes desafios enfrentados pelos professores no processo de ensino aprendizagem é transformar um conhecimento do saber científico em um conteúdo didático para ser compreendido pelos estudantes. Nesse processo existe uma discussão complexa envolvendo questões como materiais de ensino, processos de aprendizagem, domínio de estratégias de ensino, organização e apresentação de conteúdos etc.

Questões como estas, estão inseridas na didática das ciências, que tem como um de seus objetivos a transformação do saber científico em saber ensinado. Essa transformação pode ser feita por meio de uma importante estratégia de ensino, a Transposição Didática. Não obstante, a tarefa não é fácil, em virtude da produção de conhecimentos do âmbito da pesquisa científica e do ambiente escolar serem de naturezas diferentes.

Essa problemática é acentuada quando partimos para o ensino de ciências, pois existe toda uma adequação de um saber acadêmico para a realidade escolar, que muitas vezes, quando mal elaborada, pode prejudicar a compreensão dos conteúdos e transmitir uma visão equivocada do trabalho científico. É aí que entra o papel da transposição, como uma possibilidade para a reelaboração dos saberes, desde que seja feita uma reflexão para evitar os possíveis equívocos ocorridos na transformação dos saberes (FORATO, 2009).

Nesse sentido a Transposição Didática passa a ser um auxílio importantíssimo para que possamos analisar o movimento do saber sábio, aquele que os cientistas descobrem, para o saber a ensinar, aquele que está nos livros didáticos, e, por este, ao saber ensinado, aquele que realmente acontece em sala de aula.

Segundo Chevallard (1991, Apud ALMEIDA, 2011, p.54), o papel da Transposição Didática nesse processo é fazer adaptações num conteúdo do saber que vai torná-lo apto a ocupar um lugar entre os “objetos de ensino”. Dessa forma, a Transposição Didática se mostra como um instrumento de análise do processo de transformação do conhecimento ou saber.

Levando em conta tais características, acreditamos que a Transposição Didática fornece um aporte teórico no desenvolvimento de nosso trabalho, a fim de que possamos compreender e adequar o saber científico, tomando como base o seu ambiente de produção, para o ensino de ciências.

Assim, utilizaremos o conceito de Transposição Didática para promover adaptações no saber científico envolvendo à (FMC) para o ambiente de sala de aula do ensino médio, trazendo como proposta, o ensino dos modelos atômicos e suas implicações para a Física do começo do século XX, tendo como auxiliadora a abordagem histórica.

Nos itens que seguiremos apresentaremos algumas características da Transposição Didática que podem nos ajudar na adequação de conteúdos de Física, por meio da história da ciência para o ambiente escolar.

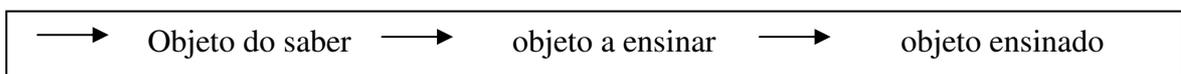
#### 4.1. O conceito de Transposição Didática

O termo Transposição Didática existe desde a década de 70 e é atribuído ao sociólogo Michel Verret na publicação de sua tese *Le Temps des Etudes*, defendida em 1975 na França. Mais tarde este conceito foi utilizado por Yves Chevallard e Marie-Alberte Joshua no campo do ensino de Matemática para examinar as transformações sofridas pela noção matemática de distância entre o momento de sua elaboração por Fréchet, em 1906, e o momento de sua introdução nos programas de geometrias francesas, em 1971 (ALMEIDA, 2011). O termo é apresentado com um aprofundamento maior em 1998, por Chevallard em seu livro, *La transposition Didactique: du savoir savant au savoir enseigné*.

Nesse livro, Chevallard amplia o conceito de Transposição Didática, dizendo que ela é composta por três partes distintas

[...] *savoir savant* (saber do sábio), que no caso é o saber elaborado pelos cientistas; o *savoir a enseigner* (saber a ensinar), que no caso é a parte específica aos professores e que está diretamente relacionada à didática e à prática de condução de sala de aula; e por último o *savoir enseigné* (saber ensinado), aquele que foi absorvido pelo aluno mediante as adaptações e as transposições feitas pelos cientistas e pelos professores (ALMEIDA, 2011, p. 10).

Na visão de Chevallard, cada um desses saberes desempenha um papel fundamental no processo de ensino aprendizagem, uma tríade, na qual a atenção maior deve ser voltada para o objeto da investigação científica, ou seja, o saber sabido e sua relação com o saber ensinado. Na transição entre esses tipos de saberes a Transposição Didática passa a ser considerada a peça chave para a análise entre o movimento do saber sabido para o saber a ensinar, e, por este ao saber ensinado. Ao longo desse processo, não se deve compreender a transposição do saber no sentido restrito do termo, ou seja, apenas uma mudança de lugar, mas como um processo de transformação dos saberes, cujas correspondências se fazem através do (objeto do saber) sabido, saber a ensinar (objeto a ensinar) e saber ensinado (objeto ensinado), assim como ilustrado no esquema a seguir (ALVES FILHO, 2000).



Esses objetos estão envolvidos no complexo universo, que configura o contexto escolar (Sistema Didático), que representa uma pequena parcela do ambiente maior, (o Sistema de Ensino), o qual, por sua vez, está sujeito as mudanças sociais.

Todas estas instâncias fazem parte de um ambiente denominado por Chevallard de Noosfera, que representa tudo aquilo que interfere direta ou indiretamente no sistema educacional, envolvendo pessoas e instituições. Um ambiente onde

[...] se encontram todos aqueles que, tanto ocupam os postos principais do funcionamento didático, se enfrentam com os problemas que surgem do encontro da sociedade e suas exigências; ali se desenvolvem os conflitos; ali se levam a cabo as negociações; ali se amadurecem as soluções [...]. (CHEVALLARD, 1991, p.28, apud BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2005, p.391).

Ela pode ser considerada como o centro da transposição didática, o lugar onde se tenta delimitar as competências, as responsabilidades e o papel de cada indivíduo que faz parte do processo de ensino- aprendizagem. Por meio dela, podem-se definir os currículos em meio ao ambiente onde se este inserido, bem como as possíveis adaptações necessárias para levar o conhecimento científico para a sala de aula. Dessa forma, a Noosfera se transforma numa espécie de ponte, que liga a transposição didática aos tipos de saberes.

## **4.2. O movimento dos Saberes**

### **4.2.1. O saber sabido**

Como havíamos comentado anteriormente, na tese defendida por Chevallard um dos elementos base do saber é considerado o saber científico ou saber sabido, que deve estar inter-relacionado com o conhecimento escolar de forma que possibilite a inserção dentro da cultura escolar, tornando-se ensinado e, conseqüentemente, apreendido. Tal saber é construído no interior da comunidade científica e passa por várias transformações, sem retratar características de sua construção. Dessa forma, ele assume um caráter impessoal numa linguagem característica e distante da realidade escolar.

Essa característica do saber sabido, provem da maneira como os cientistas e pesquisadores de um modo geral constroem e apresentam o conhecimento científico. Nesse processo, os pesquisadores não descrevem os caminhos pelos quais tiveram que passar para chegar a determinadas descobertas, principalmente devido ao grau de informalidade que os levou a tais descobertas.

Nesse sentido, se faz necessário uma reformulação do saber, fazendo com que possa ser compreendido por um público maior, a partir de uma reorganização para uma linguagem mais simples trazendo o saber para um novo patamar, para o "saber a ensinar".

#### **4.2.2. O saber a ensinar**

Após ter passado por toda a transformação do seu "contexto de justificativa", o saber está voltado agora para o ambiente escolar. Para chegar a esse ambiente, e atingir a novas demandas, ele deve ser revisto de maneira que possa ser apresentado aos estudantes de diferentes níveis de ensino. Quando isso acontece, o saber passa a ser denominado saber a ensinar, apresentando uma composição diversificada, da qual fazem parte, os autores de livros didáticos e divulgação científica, os professores, os especialistas de cada área e muitas vezes a opinião pública (CHEVALLARD, 1991).

Nesse processo de reestruturação o saber assume um caráter acumulativo, linear organizando-se numa sequência lógica, perdendo elementos de sua origem como o contexto histórico no qual foi desenvolvido. Isso lhe configura um novo contexto uma espécie de degradação, uma verdadeira perda de seu contexto original, que segundo Chevallard apud Alves-Filho (1991), denomina-se despersonalização do saber.

Essa característica do saber a ensinar, torna o saber sabido uma sequência logicamente encadeada de conhecimento acumulado ao longo dos séculos, com crescente grau de dificuldade e atemporal, como se o conhecimento fosse uma espécie de evolução natural, desvinculando-se totalmente do ambiente no qual se originou, configurando o que Chevallard chama de processo de dessincretização.

[...] é abstraída toda e qualquer vinculação com o ambiente epistemológico no qual ele se originou, passando a reconstituir-se em um novo contexto epistemológico... é obtido um saber com uma nova roupagem, uma organização a-histórica, um novo nicho epistemológico e de validade dogmatizada [...] (ALVES-FILHO, 2000, p.p 226-227).

Dessa forma o saber a ensinar acrescenta elementos que não existem no saber sabido, distorcendo a realidade de construção do conhecimento e moldando um contexto artificial no qual o ser humano não interfere nos fenômenos, e sim os observa e explica através da ciência, transmitido a visão de neutralidade do conhecimento científico. Isso está presente sob a forma de conteúdos ou objetos de ensino nos livros didáticos, que na maioria das vezes são trabalhados de forma expositiva, de caráter progressivo e acumulativo.

Essa transformação sofrida pelo saber sabido traz consigo uma linguagem nova, novos termos e situações para o saber, utilizadas nos livros textos, no intuito de organizar de forma lógica as sequências didáticas, configurando um novo cenário, com características distantes do contexto original das investigações científicas.

Nesse caminho, o saber a ensinar, traz consigo graves problemas que distorcem a visão sobre a evolução do conhecimento científico e pode, conseqüentemente, trazer ideias equivocadas sobre a ciência para o ensino de ciências. Na tentativa de superar essa problemática, uma nova transposição didática pode ser desenvolvida e um novo saber pode ser utilizado, tendo o professor um papel fundamental de levar o saber até a sala de aula de uma forma diferenciada, trazendo um pouco do contexto de desenvolvimento do conhecimento científico.

#### **4.2.3. O saber ensinado**

Ao adentrarmos no ambiente de sala de aula, o saber a ensinar passa por uma nova transposição didática, que agora encontrar-se voltada para a prática do professor durante as aulas. Os valores didáticos nesse momento são os mais importantes, o professor por sua vez, deve estar atento para fazer a mediação entre o conhecimento presente nos livros didáticos em conhecimento apreendido. Nesse processo surge um novo tipo de saber, o saber ensinado, que está centrado no trabalho do professor e sua prática em sala de aula.

Na esfera que permeia esse novo saber, todos os participantes convivem em um mesmo ambiente, partilhando experiências e interesses.

Fazem parte destes grupos os alunos, gestores, supervisores e orientadores educacionais, a comunidade dos pais e, principalmente os professores. Assim, a "didática do professor, entra nessa relação como uma forma de otimizar as conexões do aluno, frente às informações que se deseja repassar" (OFUGI, 2001, p.80 apud BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2005, p.394).

Nesse ambiente, existe uma aproximação entre os personagens que compõem a esfera escolar, propiciando de maneira mais clara, as opiniões dos grupos, nas definições e nas modificações que refletem no saber ensinado. Em meio a esse ambiente, o professor desenvolve uma nova transposição didática, que deve se adequar as constantes mudanças do instável ambiente escolar.

A tarefa é complexa, pois o dogmatismo do conhecimento presente nos livros didáticos, bem como às pressões de grupos de sua esfera são muito grandes (ALVES-FILHO,

2000, p.231). Dessa forma, cabe ao professor criar um ambiente que favoreça o rompimento da imagem neutra e empirista da ciência presente nesses livros. Para isso, ele pode fazer uso da transposição didática na elaboração de estratégias que tornem possível a compreensão do saber. Nessa empreitada, e em meio as dificuldades apontadas anteriormente, a transposição didática permitirá ao professor uma forma de promover mudanças curriculares, que possibilitem o movimento dos saberes.

No item que segue, trataremos de algumas orientações, elaboradas por Astolfi (1997), baseadas no trabalho de Chevallard e Joshua (1982), que devem ser observadas durante o processo de transposição didática.

#### **4.3. A dinâmica do saber e nosso referencial: Regras da transposição didática**

No processo de adaptação do saber científico para o saber ensinado, muitas coisas acontecem: estratégias didáticas devem ser elaboradas, integração entre os objetos de ensino, adaptações de linguagem etc.

Atreladas a estas questões, objetivos devem ser traçados com o intuito de promover adequações à dinâmica do saber. Esses objetivos estão presentes nas regras ou etapas apresentadas por Astolfi (1997), que auxiliam na compreensão das modificações que acontecem no saber científico até o saber a ensinar. São elas:

##### *Regra I: Modernizar o saber escolar*

À medida que o conhecimento acadêmico se desenvolve, novos saberes são produzidos, alguns incorporados pela tecnologia e outros em uso pela indústria. Isso traz consigo a necessidade de uma atualização por parte dos órgãos responsáveis pela reavaliação dos conteúdos dos livros didáticos. Essas mudanças são importantes, pois trazem para o ambiente de sala de aula o conhecimento dos impactos provocados pelas inovações científicas bem como a influência da mesma no cotidiano dos estudantes. Na visão de Astolfi,

Em diferentes disciplinas, parece ser necessário aos especialistas “colocar em dia” os conteúdos de ensino para aproximá-los dos conhecimentos acadêmicos. Neste caso, frequentemente criam-se comissões que tomam por base vários trabalhos e proposições anteriores difundidos na noosfera [...] (Astolfi, 1997:182, Apud ALVES FILHO, 2000, p.235).

No caso da física, por exemplo, essas atualizações tornam-se indispensáveis, tanto para o a formação dos futuros professores, nos cursos de graduação, como nas salas de aula

do ensino básico. Quando existe a conexão entre o conhecimento desenvolvido nesses ambientes, o caminho para se chegar ao saber ensinar se torna menor.

*Regra II: Atualizar o saber a ensinar.*

Em alguns momentos, quando o professor busca auxílio no livro didático pode se deparar com saberes considerados demasiadamente banalizados, que de certa forma se agregam a cultura popular e não requerem o formalismo escolar (ALVES FILHO, 2000). Esse fato nos mostra que a atualização dos livros didáticos não se deve exclusivamente a acrescentar novos saberes, implica também na eliminação de alguns deles.

Podemos tomar como exemplo o desenvolvimento de novas tecnologias, que com o passar do tempo substituem as existentes, fazendo com que certos conteúdos associados as mais antigas sejam descartados por falta de uso do contexto atual, como destacado por Alves Filho (2000),

A introdução do novo leva ao descarte do antigo que não tem mais serventia. Atualmente tópicos como estudo de máquinas simples, entre elas o “sarilho”, régua de cálculo, termômetro de máximas e mínimas não fazem mais parte dos livros textos, confirmando a presente regra. Regra que poderia ser entendida como a “luta contra obsolência didática” (ALVES FILHO, 2000, p.236).

Apesar de válida para certos conteúdos, essa regra não se aplica totalmente ao ensino de Física. Devemos observar, por exemplo, que um grande número de conteúdos são considerados ultrapassados por não desempenharem papel relevante para a formação pretendida pela sociedade atual e não por estarem incorporados a cultura popular.

*Regra III: Articular o saber “novo” com o saber “antigo”.*

Atualizações dos conteúdos didáticos são necessários e devem fazer parte do processo de transformação dos saberes. Porém, a introdução desses “novos objetos” não pode estar desvinculada dos saberes já incorporados nos programas de ensino. Pelo contrário, deve existir uma articulação entre os elementos novos e os conteúdos mais antigos, que ainda permanecem nos livros didáticos.

É importante que se tome cuidado com a articulação entre tais conteúdos para evitar possíveis erros como o anacronismo, como descrito por Brockington e Pietrocola, (2005). Segundo eles, não se pode negar de forma radical um conteúdo já incorporado ao Sistema de Ensino, pelo contrário, deve haver uma relação de proximidade para algum tipo de

desconfiança dos estudantes em relação aquilo que se deseja ser aprendido por eles na disciplina.

Um exemplo dessa articulação do novo com o velho é a introdução do Eletromagnetismo sem a negação da Eletrostática e da Magnetostática. Nos livros e programas de física, tanto no Ensino Médio como em nível universitário básico, os capítulos destinados ao Eletromagnetismo aparecem posteriormente ao estudo da interação entre cargas paradas e das propriedades magnéticas da matéria. O mesmo acontece com a introdução do conceito de campo elétrico em articulação historicamente anacrônica e epistemologicamente incorreta com a força coulombiana. Isso, pois, no contexto da eletricidade e do magnetismo, força e campo são conceitos basilares de programas de pesquisa concorrentes. Os programas coulomb/laplaciano (século XVIII/XIX) e faraday/maxwelliano (século XIX) propunham concepções de mundo muito diferentes. As interações elétricas e magnéticas seriam, para os primeiros, resultado da ação de forças à distância, enquanto, para o segundo, consequência da ação mediada dos campos. (BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2005, p.398).

Isso mostra a relevância do conhecimento acerca da construção do saber científico ao longo da história, frente às transformações sofridas por ele até chegar ao ambiente de sala de aula. Nesse processo, o professor desempenha um papel de investigador, buscando informações que lhe auxiliem nas discussões sobre os aspectos históricos do conhecimento científico.

*Regra IV: Transformar um saber em exercícios e problemas.*

No processo de transformação do saber, existem certos conteúdos considerados mais propensos a elaboração de problemas e exercícios. Na maioria das vezes eles são valorizados no espaço escolar, principalmente em relação aqueles que exigem uma argumentação teórica mais apurada, devido à facilidade de organização de uma gama maior de atividades, os chamados “exercícios de fixação”.

Em disciplinas como a física isso acontece frequentemente, no momento que o professor elabora uma grande quantidade de exercícios-problemas de Cinemática, transformação de escalas termométricas, circuitos elétricos etc. (ALVES FILHO, 2000). Fazendo isso, o professor torna o saber operacional, que nos termos da Transposição Didática, pode gerar formas de “lidar” com o sistema de ensino estabelecendo uma relação entre professor-aluno-saber.

Apesar de propiciar essa operacionalidade, a transformação do saber em exercícios e problemas, pode trazer uma mudança de foco exagerada para certos aspectos como no caso da física, por exemplo, onde muitas vezes centra-se no formalismo algébrico, perdendo de vista o

fenômeno estudado. Esse fato não é de hoje, tornou-se praticamente uma tradição no ensino de física e por esse motivo é necessário que se tenha cuidado no momento de realizar a transposição didática.

*Regra V: Tornar um conceito mais compreensível.*

Em várias etapas do processo de ensino e aprendizagem podem surgir dificuldades, que causam problemas na aprendizagem de conceitos. A transposição didática por sua vez, tem como objetivo minimizar essas dificuldades, aproximando o saber sabido dos estudantes. Muitos objetos desse saber apresentam uma linguagem própria mais sofisticada que deve passar por transformações com o intuito que chegue ao entendimento dos estudantes.

Nessa transformação o saber a ensinar desenvolve uma linguagem própria acessível aos estudantes. Nesse processo podem ser desenvolvidas estratégias facilitadoras do aprendizado, através de elementos presentes no cotidiano dos estudantes. Nesse momento entra o papel da transposição didática para o professor, servindo praticamente como uma ponte entre o conhecimento do saber científico para o saber ensinado. Sobre essa característica nos apoiamos para o desenvolvimento de nossa investigação bem como dos pontos apresentados a seguir com base no trabalho de Forato (2009).

#### 4.3.1. O nosso referencial

Tratamos até agora de vários aspectos dos processos de transformação do saber. No entanto, não discutimos como utilizamos o conhecimento sobre eles em nossa investigação.

Para o desenvolvimento de nossa pesquisa, mais especificamente, para a produção do material que utilizamos em sala de aula tomamos como referência as características das regras apontadas anteriormente, bem como das principais características da transposição didática apresentadas por Chevallard. Tanto no sentido de evitar erros que dificultassem o processo de ensino aprendizagem como apresentada na *Regra II*, como também fazer uso do importante papel da transposição didática em tornar um conceito mais compreensível.

Aliado a todo este estudo também fizemos uso de importantes pontos destacados por Thais Forato em sua Tese de doutorado, que servem de auxílio para a transposição do saber sabido histórico para o saber a ensinar, São eles:

- Extensão versus profundidade;
- Simplicidade versus distorção;
- Compressibilidade versus rigor histórico;

- Objetivismo versus subjetivismo.

Baseados nas discussões geradas por esses conflitos ou dilemas, desenvolvemos estratégias que possibilitassem a transposição didática da pesquisa teórica apresentada ao longo do capítulo 2 de maneira que evitasse possíveis erros ou longo do material que construímos.

No primeiro ponto buscamos escrever textos curtos para os estudantes, que trouxessem as principais discussões histórica e conceitual atribuída a cada uma das interpretações investigadas, de maneira que não comprometesse a discussão recorrente do texto base.

Seguindo para o segundo e terceiro ponto, tentamos adequar a linguagem do texto ao nível que possibilitasse a compreensão por parte dos estudantes e gerasse diálogos com o professor acerca dos conceitos abordados e dos aspectos históricos.

Por último, procuramos manter uma linguagem objetiva com o intuito de melhorar a compreensão das principais ideias contidas nos textos, na busca por uma maior participação dos estudantes ao longo das discussões geradas em sala.

Em meio às discussões geradas sobre esses pontos, desenvolvemos estratégias para trabalharmos o episódio histórico escolhido, que serão descritas no próximo capítulo.

## 5. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA

A pesquisa é de natureza qualitativa, em que realizamos um estudo teórico e um estudo empírico.

A parte teórica consistiu no estudo histórico e conceitual do tema e na construção da proposta didática.

No estudo histórico e conceitual, construímos um texto base, fundamentado em fontes secundárias - trabalhos de historiadores da ciência - sites de divulgação em história da ciência e publicações dos próprios cientistas. Nessa construção, destacamos tanto os aspectos históricos como as mudanças na Física provocadas pela introdução de novos conceitos, além dos resultados das investigações experimentais.

A construção da proposta se deu em duas etapas: a transposição didática do material pesquisado; e o desenvolvimento de estratégias para trabalhar o tema.

Quanto à transposição didática e elaboração do material didático, iniciamos com a divisão do texto base em quatro partes<sup>17</sup>, uma para cada modelo atômico estudado. Para esta etapa levamos em conta os pressupostos mencionados anteriormente por Forato (2009), em que a partir desses tentamos desenvolver uma escrita que prezasse a compreensão e participação dos estudantes ao longo do processo. Finalizando o estudo teórico, desenvolvemos nos dois primeiros meses do ano de 2013, as estratégias metodológicas que nos auxiliassem na abordagem dos textos.

Em relação à parte empírica da pesquisa, realizamos através da aplicação de uma proposta didática<sup>18</sup>, por meio de intervenções que foram executadas entre os meses de abril e junho do ano de 2013, numa turma de 3ª ano do Ensino Médio de uma escola pública do município de Campina Grande-PB.

Após a realização destas intervenções, fizemos uma descrição de como as mesmas aconteceram e uma análise dos resultados que foram sendo obtidos ao longo da investigação. Os dados foram coletados pelo próprio pesquisador, através de registros fotografias, gravações em áudio e relatos dos estudantes. Na sequência apresentaremos a proposta, a descrição das intervenções e uma análise qualitativa das mesmas.

---

<sup>17</sup> Os textos elaborados para o professor trabalhar com os estudantes encontram-se no Apêndice A.

<sup>18</sup> A proposta didática, utilizada como referência para a construção das intervenções, encontra-se no Apêndice B.

## 5.1. A proposta didática

Para o desenvolvimento da proposta separamos um total de onze aulas, distribuídas em seis intervenções didáticas. Em cada uma delas buscamos aproximar os estudantes dos conceitos físicos sempre no intuito de que participassem ativamente das discussões sobre cada um dos modelos atômicos investigados.

Com o intuito de que isso viesse a acontecer preparamos várias atividades, que posteriormente foram selecionadas para cada uma das intervenções. Além disso, também traçamos os objetivos, os momentos e o tempo aproximado para a realização de cada uma das intervenções propostas<sup>19</sup>. Salientamos que o tempo que destinamos para cada atividade foi aproximado, pois podem surgir mudanças que modificam o desenrolar das aulas, como podem ser verificadas posteriormente nas descrições das intervenções.

No que diz respeito à primeira intervenção fizemos uma divisão para duas aulas. Na primeira aula trabalhamos duas atividades, ambas voltadas para interação dos estudantes com aspectos do conhecimento científico e estudo do contexto histórico do início do século XX. A primeira, intitulada “o segredo da caixa preta”, foi baseada em uma atividade conhecida na área de pesquisas em ensino de ciências e a segunda, situando-se no contexto histórico<sup>20</sup>, foi baseada numa atividade desenvolvida por Forato (2009). Ambas foram trabalhadas em caráter dinâmico, sempre buscando a interação de todos os estudantes.

Encerrando a primeira intervenção, trabalhamos com o primeiro texto intitulado a “interpretação de J.J Thomson para o mundo do indivisível”. Para tal fizemos leituras em conjunto com os estudantes e exposição de slides.

Partindo para a segunda intervenção buscamos uma nova forma de estimular a criatividade dos estudantes através de uma oficina que chamamos de “o modelo ampliado<sup>21</sup>”, com o intuito de que eles tentassem representar um pouco do que entenderam sobre as características o modelo de Thomson, para que pudéssemos comparar as ideias e identificar as principais dificuldades.

Após a oficina, já na quarta aula, fizemos uma roda de discussões acerca das representações e analogias<sup>22</sup> atribuídas ao modelo de Thomson, tanto em livros didáticos como em alguns sites pela internet. O nosso principal objetivo era promover uma reflexão

---

<sup>19</sup> Os objetivos das intervenções e as atividades sugeridas para cada uma das aulas encontram-se no Apêndice B.

<sup>20</sup> Ambas as atividades estão descritas com detalhes no Apêndice C.

<sup>21</sup> A descrição da atividade encontra-se no Apêndice D.

<sup>22</sup> Utilizamos imagens de representações do modelo de Thomson presentes em alguns livros didáticos, que podem ser encontradas no Apêndice E.

sobre as características do modelo de Thomson conforme o conhecimento desenvolvido a partir das aulas anteriores e assim poder compará-las com as apresentadas em fontes como os livros didáticos e alguns materiais encontrados facilmente pela internet.

Avançando para a terceira intervenção iniciamos nossas atividades com o segundo texto, por meio da montagem de um quebra-cabeça, no qual os estudantes ficariam responsáveis pela montagem do texto sobre a interpretação de Hantaro Nagaoka em meio às características do modelo de Thomson. Durante a atividade entregamos uma série de recortes do texto 2 juntamente com frases contendo características do modelo de Thomson para que os estudantes selecionassem cada uma delas e ao término fizéssemos uma discussão em conjunto.

Encerrando a intervenção, já na sexta aula, fizemos uma leitura do texto 2 e discussão das características da interpretação de Nagaoka. Salientamos que a discussão seja sempre compartilhada e interativa, tento o professor o papel de intermediador do processo, por exemplo, levantando questões sobre as partes principais do texto e dividindo a turma em equipes e deixando alguns estudantes como porta voz de cada uma delas.

Terminada a discussão, iniciamos a quarta intervenção com os estudos sobre a interpretação de Rutherford através do texto 3. Para a discussão do texto destinamos um tempo para que os estudantes fizessem a leitura. Em seguida realizamos uma discussão compartilhada, semelhante à aula anterior.

Para adentrarmos mais ainda na discussão sobre o texto, resolvemos pesquisar algumas estratégias que poderíamos utilizar, e acabamos escolhendo um experimento <sup>23</sup>semelhante ao desenvolvido por Maurício Pietrocola e Gurgel (2011) <sup>24</sup>, no qual tentamos estimulamos a capacidade de imaginação dos estudantes, averiguando características da investigação científica, levando em conta o experimento de Rutherford sobre a identificação do núcleo atômico.

Partindo para a penúltima intervenção, iniciada na nona aula, decidimos por trabalhar questões polêmicas quanto à interpretação de Rutherford, por exemplo, o “colapso do átomo”, que serviu de base para a problematização inicial. Após a discussão dessas questões fomos atrás de explicações para o problema e como ele poderia ser solucionado. Nesse momento, introduzimos o texto 4 nas discussões, debatendo os aspectos históricos e conceituais que foram apresentadas por Niels Bohr para explicar o átomo com um novo olhar, que conseguiu

---

<sup>23</sup> Intitulamos tal experimento de “o segredo do invisível” cujas orientações para sua construção e execução estão no Apêndice F.

<sup>24</sup> O artigo complexo pode ser encontrado no anexo.

romper com algumas dificuldades da interpretação de Rutherford e levando as explicações para o mundo subatômico no patamar da quantização.

O conselho que podemos dar nesse momento é de que o professor leia bastante sobre o tema quantização e tente lançar questões sempre problematizando a aula e fazendo uma diferenciação com as ideias anteriormente vistas, alertando os estudantes de que esse conceito era motivo de controvérsias e muitas discussões entre os pesquisadores da época.

Feito isso, chegamos à última intervenção, ou seja, na décima primeira aula, na qual sugerimos que o professor faça uma retomada de todas as interpretações vistas anteriormente através de um debate, onde os estudantes ficarão incumbidos de construir portfólios em alusão a cada um dos pesquisadores estudados e suas respectivas visões para o átomo.

Durante a atividade é aconselhável que o professor estimule a discussão em equipes e que utilize tanto de perguntas como de afirmações sobre os modelos atômicos e o contexto histórico da época. A base para a elaboração destas questões, bem como das afirmações podem ser o próprio texto além das discussões feitas em sala de aula. Uma dica para o professor é trabalhar com as equipes separadas por letras ou números e as questões sejam sorteadas. Para cada questão ou afirmação que determinada equipe acertar contabilizaria uma pontuação.

Dessa forma, o professor estaria estimulando a competição entre eles e acima de tudo contribuindo para o envolvimento da turma ao longo das discussões. No capítulo que se segue veremos o quanto essa e as outras atividades citadas anteriormente conseguiram contribuir para a nossa investigação.

## 6. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS INTERVENÇÕES

Após a descrição da proposta didática, relatamos neste capítulo a experiência da aplicação da mesma em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola do município de Campina Grande. Trazemos a descrição dos acontecimentos vivenciados ao longo das seis intervenções propostas, em que destacamos os aspectos positivos e negativos durante o processo de execução da proposta, tais como as falhas cometidas e os imprevistos ocorridos.

Em relação as falas dos estudantes foram descritas exatamente como eles disseram, uma vez que cada aula foi gravada em áudio. Já no que diz respeito as imagens, foi feito um pedido de autorização por escrito aos estudantes para a utilização das mesmas.

Após a descrição de cada intervenção trazemos algumas considerações sobre o ocorrido em cada uma das aulas.

### 6.1. Primeira Intervenção

#### 1ª Aula

Iniciamos esta intervenção com uma breve descrição do tema que iríamos estudar. De imediato, dois estudantes já aproveitaram para tecer seus comentários sobre o assunto.

Estudante **A**: “ah o modelo de pudim de passas”;

Estudante **B**: “e tem o de Rutherford também”.

O estudante **A** em especial, já chamou nossa atenção para algo utilizado frequentemente no ensino dos modelos atômicos, o uso de analogias, que na maioria das vezes prejudica a compreensão de um modelo dinâmico como o de Thomson comumente chamado de “pudim de passas” (LOPES e MARTINS, 2009).

Após as informações sobre o tema de nosso estudo, partimos para a realização da dinâmica intitulada "o segredo da caixa preta", com o objetivo de ilustrarmos algumas características da investigação científica. Nessa atividade os estudantes deveriam formar equipes para tentarem descobrir quais objetos estariam contidos dentro de caixas completamente lacradas (Fig.1), utilizando de diferentes estratégias.



Figura 1-Ilustração do momento de explicação da atividade e investigação dos conteúdos das caixas

No momento da investigação a empolgação foi grande, tanto que alguns dos estudantes já foram especulando o que haveria nas caixas e de como poderiam descobrir. Um deles, que chamaremos aqui de estudante **M**, considerado pela maioria dos professores como hiperativo e problemático, foi um dos mais entusiasmados, levantando várias hipóteses para o conteúdo das caixas que sua equipe pegou.

Estudante **M**: " acho que tem moedas... mas pode ser também pregos também"

Ao longo da atividade seguiram-se várias outras hipóteses tanto do estudante **M** como por parte de outros estudantes, que demonstraram bastante interesse na busca por respostas para cada objeto que acreditavam ter identificado.

Passados os quinze minutos, as equipes apresentaram suas conclusões, ambas atribuídas às características físicas como o barulho e o movimento dos objetos dentro das caixas. A **equipe A** concluiu que na **caixa A** haviam “moedas, pedaços de giz e sementes, devido ao barulho peculiar de cada um desses objetos”. Já a **equipe B** afirmou que na **caixa B** tinha “pregos e pedacinhos de madeira, por causa do barulho mais agudo, como se fosse metal batendo em algo fofo parecido com madeira”.

A **equipe C**, afirmou que na caixa **C**, continha “um chaveiro, pedras e pedaços de papel”. Por último a **equipe D** chegou à conclusão de que na caixa **D** havia “sementes de feijão e um chaveiro”. As equipes C e D não justificaram suas conclusões.

Quando foi revelado o conteúdo das caixas, todas as equipes se surpreenderam com o que perceberam, apesar da aproximação de suas hipóteses com alguns dos objetos revelados nas caixas.

A partir dessa atividade iniciamos uma discussão acerca de características da investigação científica, destacando, a observação, o levantamento de hipóteses, uso da imaginação e curiosidade, como alguns dos elementos essenciais desta atividade. E, ao direcionarmos a discussão para o nosso tema de curso, a estrutura da matéria, os estudantes

especularam a dificuldade de se estudar um fenômeno tendo poucas informações sobre ele e, sem poder observá-lo.

Nesse momento, comparamos essas dificuldades com as enfrentadas no estudo dos fenômenos atômicos, enfatizando a importância dos elementos de investigação supracitados na construção do conhecimento científico.

Alguns estudantes se surpreenderam com a analogia realizada entre a dinâmica e a atividade de investigação, considerada complexa, por entenderem que a ciência é feita e construída por “grandes mentes”, denominação atribuída aos cientistas, por integrantes da **equipe C**.

Seguindo para o segundo momento da primeira aula, realizamos uma discussão sobre o contexto histórico da Europa, entre o final do século XIX e início do século XX. Com esse estudo pretendíamos proporcionar aos estudantes a compreensão do contexto em que se desenvolveram as interpretações da estrutura da matéria.

Para ilustrar um pouco esse contexto, foi realizada uma discussão acerca de fatos marcantes do começo do século XX, por meio da exposição de slides. Em seguida os estudantes montaram um painel cronológico (Fig.2), por meio da montagem de recortes históricos (textos, imagens, acontecimentos marcantes, etc.), entregues na forma de cartões.



Figura 2 - Representação dos estudantes confeccionando o painel “situando-se no contexto histórico”

## 2ª aula:

Na segunda aula, partimos para a discussão do primeiro texto, intitulado “A interpretação de Thomson para o mundo do indivisível”.

Inicialmente foram lançadas algumas questões sobre o modelo de Thomson, a fim de explorar os conhecimentos dos estudantes, no que diz respeito à estrutura, conceitos físicos e conhecimento histórico.

Como estratégia para trabalhar esse texto, foram organizadas rodas de leitura, em que cada equipe deveria destacar partes do texto que não compreendeu, achou interessante ou que acreditava ser importante para serem discutidas. De início não foi tarefa fácil, sobretudo por causa da dificuldade de concentração da grande maioria dos estudantes, agravada pela falta de hábito de leitura.

No entanto, muitos questionamentos surgiram. O estudante **C**, por exemplo, indagou: “Thomson fez muitas contas pra escrever o modelo? ”. O estudante **D** questionou em relação às propriedades Físicas: “Não conseguimos entender como as cargas não ficavam presas na positiva”.

À medida que os estudantes lançavam essas questões, conseguíamos identificar as principais dificuldades, concentradas principalmente na compreensão das relações entre os conceitos de força e carga elétrica, como relatado pelo estudante **D**. Além disso, também percebemos o quanto os estudantes sentem a necessidade de uma formulação matemática para representar fenômenos físicos, além das analogias, criando uma imagem

[...] e o átomo deixa de ser um modelo para ser real, palpável e similar à analogia que a imagem criou, fazendo com que a ideia principal do modelo matemático que deu origem a esse modelo atômico seja distorcida (MELO e NETO, 2012, p.115).

Com base nos posicionamentos dos estudantes, discutimos o texto, auxiliados com uma apresentação de Slides, que traziam informações sobre Thomson, seus estudos acerca da estrutura da matéria e seu modelo. Ao término desta discussão os estudantes foram orientados a responderem individualmente as questões contidas no final do texto.

No geral, conseguimos ter resultados positivos, apesar de alguns problemas como a manutenção do tempo para cada atividade. Além disso, perceber também que os estudantes mantiveram interesse pelas atividades, expuseram suas dúvidas e confrontaram ideias, entre o conhecimento que eles tinham sobre o modelo de Thomson e as informações trazidas no texto que trabalhamos.

### **Considerações sobre a primeira intervenção:**

Diante do estudo que realizamos conseguimos observar aspectos que nos fizeram refletir acerca das atividades desenvolvidas ao longo das intervenções. Desde os conhecimentos prévios dos estudantes até as dificuldades de interpretação e argumentação.

Durante a primeira aula obtivemos resultados interessantes que nos ajudaram a compreender um pouco sobre o conhecimento dos estudantes a respeito do tema estudado. Por meio das discussões realizadas também conseguimos identificar a concepção de construção do conhecimento científico, na qual prevalecia a ideia de ciência como uma empreitada de "grandes mentes" que constroem as teorias científicas.

Ao partirmos para a atividade com as caixas, identificamos o quanto os estudantes podem participar da aula de forma ativa, desde que haja uma problematização que os faça dialogar entre si acerca do conhecimento apresentado.

No momento que exploravam o conteúdo das caixas, por exemplo, conseguimos realizar uma discussão importante acerca da investigação científica. Fizemos isso no momento em que os estudantes apresentavam suas hipóteses para os objetos contidos nas caixas. Nesse diálogo com os estudantes, tentamos estabelecer uma relação entre a atividade que eles estavam desenvolvendo com a investigação científica.

Com esse estudo identificamos as dificuldades que eles tinham em alguns momentos para argumentar sobre as ideias apresentadas, devido principalmente à insegurança em assumirem o papel de agentes do processo de construção do conhecimento. No entanto, da forma que a aula foi conduzida, eles conseguiam apresentar suas ideias, além de tentaram defendê-las.

Outro momento interessante ocorreu quando associamos a dificuldade que eles estavam enfrentando com as enfrentadas pelos pesquisadores que dedicaram anos de investigação para explicarem aquilo que não podiam enxergar. A surpresa entre os estudantes era evidente, principalmente quando explicávamos que os modelos atômicos não eram reais, mas sim uma representação do que os pesquisadores aceitariam como sendo uma tentativa de se explicar a natureza.

Seguindo esse raciocínio, tentamos ajudar os estudantes a entenderem que os modelos atômicos estariam sujeitos a modificações, evidenciando o caráter dinâmico da ciência. Nesse momento observávamos o quanto muitos deles eram confrontados com a concepção que tinham sobre o que viria a ser um modelo atômico, ou seja, um confronto entre a ideia de algo

real para uma coisa abstrata. Isso fez com que muitos deles se surpreendessem com a concepção de ciência em transformação.

Partindo para a segunda aula na atividade "situando-se no contexto histórico", tentamos ajudar os estudantes a compreenderem o momento histórico no qual os modelos atômicos foram desenvolvidos, destacando a situação política, a economia e o contexto científico no qual os países europeus estavam passando.

Nessa atividade conseguimos obter resultados positivos, pois estudantes identificaram bem os aspectos políticos e econômicos. No entanto, o que nos preocupou foi a falta de conhecimento sobre a situação da ciência da época, além de que tivemos que contornar a falta de participação de uma pequena parcela da turma, que inicialmente impossibilitou explorarmos o conhecimento individual de alguns estudantes.

Contudo, acreditamos que as aulas trouxeram resultados positivos, pois além de problematizarem os temas trabalhados, despertaram o interesse dos estudantes, incentivaram a exposição de dúvidas e o confronto de ideias sobre o conhecimento que eles tinham sobre o modelo de Thomson e as informações trazidas no texto que trabalhamos. Isso chamou bastante a atenção deles, especialmente pelo fato de utilizarem conceitos de física, que haviam visto há poucos dias, para questionarem algo que até então era considerado "perfeito".

## **6.2. Segunda intervenção**

Passados quinze dias da última intervenção retomamos nossas atividades. Inicialmente estava planejada para esta intervenção a realização de duas atividades uma para a terceira aula, intitulada "modelo ampliado", por meio de uma oficina pedagógica, e outra para a quarta aula denominada "análise das representações". No entanto, visando uma adequação mais lógica do conteúdo, por depois entendermos que a compreensão dos estudantes poderia ser mais proveitosa, a ordem das aulas foi invertida.

### **3ª aula**

Na terceira aula, foram retomadas algumas discussões da primeira intervenção, por meio de um diálogo com os estudantes e com exposição de alguns slides, que continham questões abordadas no texto 1, envolvendo os aspectos históricos e as características conceituais da investigação de Thomson.

Passado esse momento de revisão, partimos para a atividade intitulada "análise das representações", que foi dividida em dois momentos.

No primeiro, os estudantes deveriam se reunir em equipes para fazer uma releitura do Texto 1, e responderem oito questões ligadas a interpretação de Thomson, as quais encontravam-se depositadas numa caixa de madeira. Cada equipe retirava duas questões.

No decorrer da atividade instalou-se um clima interessante de rivalidade, visto que os membros de algumas equipes queriam se destacar em relação ao restante da turma. Cada estudante tinha direito de apresentar a sua opinião, no entanto, as equipes deveriam escolher a resposta que considerassem a mais correta. A (Fig.3) ilustra algumas fases deste primeiro momento da terceira aula.



Figura 3- Ilustração de algumas atividades do primeiro momento da terceira aula

Em seguida, já num segundo momento, os estudantes ficaram incumbidos de analisar algumas imagens obtidas de livros didáticos e alguns sites, que faziam referência ao modelo de Thomson, atentando-se às discrepâncias existentes nas ilustrações analisadas com as características do modelo estudadas em sala de aula. Neste momento da aula, ficou evidenciado pelos estudantes, que grande parcela das imagens por eles analisadas eram incompletas, inadequadas e ou diferentes das vistas no nosso estudo.

#### **4ª aula**

Nesta aula realizamos uma oficina pedagógica denominada “modelo ampliado”, em que os alunos orientados pelo professor e auxiliados com o uso do roteiro, puseram a “*mão na massa*” para construírem a representação do modelo de Thomson.

Durante a realização da oficina, as equipes mobilizavam-se e discutiam entre si os detalhes que poderiam ser representados com o material que dispunham. Dentre os detalhes destacamos: os anéis do modelo; disposição das cargas positivas e negativas; movimento e número de cargas por anel; além da direção do movimento das cargas. A (Fig. 4), ilustra momentos da construção das representações pelas equipes, durante a oficina.



Figura 4 - Ilustração de algumas construções na oficina pedagógica

Apesar das dificuldades, cada estudante queria dar sua opinião, sempre buscando uma aproximação das ideias de Thomson. Com isso muitos questionamentos e discussões surgiam entre os participantes das equipes. Com a finalização da oficina, os estudantes apresentaram e defenderam a sua produção. Na (Fig.5), apresentamos alguns registros desse momento.



Figura 5 - Apresentação das produções das equipes após a oficina

Antes de finalizar a aula, houve uma retomada da explicação do modelo de Thomson para o átomo. Nesse momento, os grupos começaram a apontar problemas em suas construções, como exemplo, o número de cargas em cada anel, que em todas as representações contrariavam o modelo de Thomson. Esse momento da aula foi de grande importância, pois possibilitou aos estudantes, reflexões mais detalhadas acerca da interpretação do modelo de Thomson para o átomo.

### **Considerações sobre a segunda intervenção**

Comparando esta com a primeira intervenção, alguns avanços foram obtidos, como a participação de um maior número de estudantes, que expuseram suas opiniões e dificuldades individuais, ao discutirem em sala de aula, aspectos importantes da interpretação do modelo de Thomson para átomo.

Com a oficina pedagógica intitulada "modelo ampliado", tentamos explorar os conhecimentos dos estudantes sobre as características do modelo de Thomson discutindo sobre a relação entre carga e massa presente na interpretação.

À medida que cada equipe apresentava sua representação lançávamos questões sobre o modelo, e por meio delas conseguimos obter resultados positivos, pois identificávamos, por meio das respostas apresentadas, a compreensão de aspectos históricos de sua construção do modelo.

Contudo, detectamos alguns problemas, como à dificuldade de compreensão de alguns estudantes, ligada principalmente à relação entre os conceitos físicos de força elétrica e massa, que por sua vez gerou interpretações equivocadas, quanto a distribuição de cargas no átomo. Nesse caso, acreditamos que novas estratégias devem ser elaboradas no intuito de reforçar o estudo das características físicas, auxiliando os estudantes na compreensão física do modelo.

### **6.3 Terceira intervenção**

Nessa intervenção, da qual fizeram parte a 5ª e 6ª aula, trabalhamos o modelo atômico proposto pelo japonês Hantaro Nagaoka. Nela também trabalhamos a interpretação de Thomson juntamente com características do modelo de Nagaoka.

#### **5ª aula**

Iniciamos essa aula de uma forma um pouco diferente das anteriores. Em vez de entregarmos o texto pronto ou apresentarmos informações sobre ele através de slides, os próprios estudantes deveriam montá-lo para que pudéssemos prosseguir com nosso estudo. Nessa atividade foram entregues aos estudantes vários recortes do Texto 2 intitulado “*Do Macrocosmo ao Microcosmo: a formação do modelo núcleo planetário de Nagaoka*”, juntamente com questões vistas na aula anterior ligadas a interpretação de Thomson.

Nosso objetivo era proporcionar um primeiro contato dos estudantes com o Texto 2, bem como verificar se eles conseguiam identificar as características vista acerca do modelo de Thomson.

Durante a atividade, foi proposto que os estudantes se reunissem em equipes com o intuito de que houvesse a colaboração de todos na montagem do texto. A (Fig.6), ilustra diversos momentos das quatro equipes, colecionando os recortes e construindo o texto.

É importante mencionar que os estudantes estiveram “livres” para montarem o texto e selecionar as questões, porém quando encontravam dificuldades, os mesmos consultavam o professor.

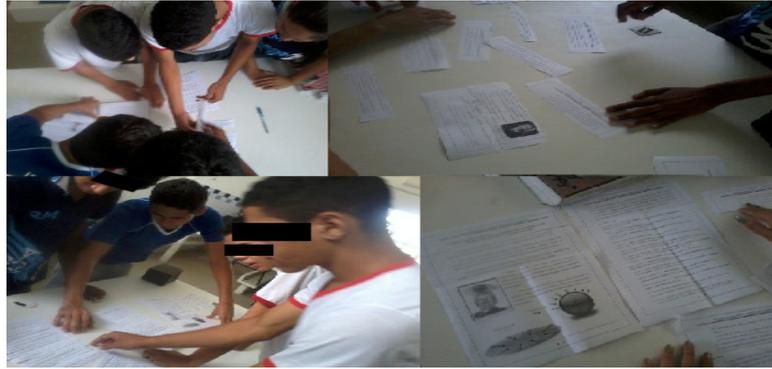


Figura 6- Ilustração dos estudantes montando os textos

No transcorrer da montagem, os estudantes se mostravam atentos aos detalhes e conseguiam identificar com certa facilidade as características do modelo de Thomson e em alguns momentos se surpreendiam com as diferenças em relação aos recortes da interpretação de Nagaoka.

**Estudante J:** *“Separa esse daqui que é de Thomson... tem as cargas na superfície”.*

**Estudante M:** *“Esse negócio aqui não tinha nada a ver com Thomson não! Esse negócio fora da carga positiva”.*

Em meio a esses comentários, a participação da turma aumentava cada vez mais, fazendo com que todos se envolvessem com a atividade.

Após o término da montagem, as equipes tiveram o restante da aula para fazerem uma breve leitura do texto, que foi continuada na aula seguinte.

## 6ª aula

Nesta aula foi realizada uma leitura compartilhada do Texto 2, enfatizando o contexto em que Nagaoka desenvolveu sua investigação, bem como das características de sua interpretação para descrever o átomo. Alguns questionamentos foram apresentados pelo professor, com o intuito de enriquecer o estudo. Descreveremos duas deles, seguidos das respostas dos alunos.

Questão 1: Tinha alguma característica que vocês viram no texto 2, que estava presente na interpretação de Thomson?

**Estudante S:** *“tinha sim...”.*

**Estudante M:** *“a carga positiva ocupava a parte maior e tinha as negativas”.*

Questão 2: perguntados sobre a analogia “núcleo planetário”,

**Estudante J:** *“É por causa do sistema solar, que tem o sol e os planetas girando.”*

A discussão se estendeu, com questionamentos e especulações dos estudantes sobre: o colapso atômico; Instabilidade das cargas; e outras questões. Ao término do estudo do texto, a turma respondeu a um pequeno questionário avaliativo, que se encontrava no final do texto 2.

Durante a execução das atividades, conseguimos perceber o quanto os estudantes têm dificuldade de relacionarem as propriedades das cargas elétricas nas configurações (estruturas dos modelos) descritas por Nagaoka e Thomson. Por outro lado, também identificamos o quanto as discussões em equipes favoreciam a compressão do conteúdo e exposição de ideias acerca do que estava sendo estudado e do que já havia sido visto.

### **Considerações sobre a terceira intervenção**

Durante essa intervenção, percebemos o quanto os estudantes têm dificuldade de relacionarem conceitos físicos como carga e força elétrica nas configurações (estruturas dos modelos) descritas por Nagaoka e Thomson. Por outro lado, durante as atividades em grupo, realizamos proveitosas discussões, que favoreceram a compressão do conteúdo e exposição de ideias acerca do que estava sendo estudado e dos conhecimentos vistos até então.

Ao trabalharmos o texto 2, percebemos também que a turma conseguiu fazer questionamentos sobre a interpretação de Nagaoka, e sua relação com as ideias de Thomson. Por outro lado, a dificuldade de leitura em alguns momentos prejudicava o andamento da aula, necessitando da intervenção do professor.

Tentamos superar dificuldades como esta através do estímulo a participação individual de cada estudante, discutindo os pontos principais do texto 2 e acompanhando a leitura. A partir desse texto, também comparamos os modelos, confrontando as principais características de cada um, fazendo com que os próprios estudantes as identificassem e expusessem suas opiniões. Em meio a esse processo entendemos o quanto é importante a reflexão sobre nossas ações e estratégias utilizadas durante as aulas. Por esse motivo o professor deve permanecer atento durante o transcorrer de cada aula, pois só assim ele poderá identificar os problemas a serem superados.

## **6.4 Quarta intervenção**

### **7ª Aula**

Iniciamos a aula com comentários sobre as interpretações já estudadas, sempre dando ênfase as ideias principais. Em seguida partimos para o estudo da interpretação de Rutherford, em que tentamos ilustrar características do fenômeno de espalhamento estudado por

Rutherford e seus assistentes, tendo em vista uma reflexão maior dos estudantes sobre a detecção do núcleo atômico. De início entregamos o Texto 3, intitulado *“Bombardeando o desconhecido: A visão de Rutherford para o átomo nuclear”*.

De posse desse texto, os estudantes tiveram um tempo de 15 minutos para fazerem uma breve leitura e anotarem possíveis dúvidas. Algo que nos chamou atenção foi o comentário de um estudante sobre a leitura na aula de Física.

**Estudante W:** *“professor... se o senhor colocar pra eu fazer conta, eu faço, mas se for pra ler texto é complicado... passei dois anos vendo só conta em Física, ai pra ler texto assim é difícil, é massa discutir essas coisas ai nunca fiz... saber como foram feitas”*

Ainda que a dificuldade com a leitura fosse um obstáculo, todos conseguiram realizá-la. No processo muitos estudantes se envolviam, conseguindo fazer anotações e pedindo ajuda em alguns momentos. Percebemos que as maiores dificuldades estavam na associação aos conceitos físicos de radiação, força elétrica e nos desvios das partículas radioativas.

Passado o momento da leitura, caminhamos para a discussão e reflexão do texto, nesse momento os alunos fizeram diversos comentários sobre as informações contidas no mesmo, dentre os quais destacamos a fala do estudante J sobre os trabalhos de Rutherford e seus assistentes.

**Estudante J:** *“Os caras que fizeram o trabalho e Rutherford foi quem ficou com a fama, tá vendo aí”*.

Ainda utilizamos no estudo a exposição de slides e ao término da aula sugerimos algumas questões sobre a temática estudada. A (Fig.7), ilustra alguns dos momentos dessa sétima aula.



Figura 7- Ilustração de alguns momentos da sétima aula

## 8ª Aula

Iniciamos as atividades, com uma breve apresentação sobre as possíveis influências sofridas por Rutherford durante o desenvolvimento da sua interpretação, desde a importância das pesquisas teóricas até os experimentos com as partículas alfa. Nesse momento, foi dada ênfase aos principais trabalhos que Rutherford se baseou para explicar o estranho fenômeno de espalhamento, além das dificuldades já apontadas em explicar o átomo com uma carga central.

Na sequência realizamos uma oficina intitulada “segredo do invisível”, na qual a turma foi dividida em quatro equipes: **equipe A; equipe B; equipe C e equipe D**. Durante a atividade os estudantes deveriam lançar pequenas esferas de vidro sobre obstáculos escondidos em baixo de uma placa e acompanhar seu movimento após a colisão.

Posteriormente eles deveriam fazer marcações das trajetórias descritas por cada uma delas, que eram feitas em folhas de papel colocadas em cima da placa. A (Fig.8), refere-se as quatro configurações dos obstáculos colocados nas placas e a (Fig.9), ilustra o momento que



Figura 8- configurações dos obstáculos colocados nas placas



Figura 9 - Equipes realizando as marcações das trajetórias das esferas

Durante o processo houve o acompanhamento do professor, para que os estudantes não levantassem a placa, a fim de visualizarem os obstáculos. Contudo, à medida que o tempo passava, a curiosidade aumentava, bem como o envolvimento das equipes na realização da atividade. As equipes mostravam-se atentas para os detalhes e buscavam compreender os desvios e fazer as marcações por meio de algumas colocações.

**Equipe A:**

Estudante E: “Tá fazendo essa trajetória... da uma olhada”;

Estudante S: “*vou ter que apagar... joga por ali de novo*”.

**Equipe B:**

Estudante J: “*Tem um ponto aqui!* ”;

Estudante L: “*Tá ficando difícil professor*”... “*Não tem condição não*”;

**Equipe C:**

Estudante W: “*Tá parecendo que tem uma esfera aqui*”;

Estudante N: “*Marca outro ponto... joga aqui de novo*”;

**Equipe D:**

Estudante T: “*Ela passou direto pelo meio*”;

Estudante R: “*aqui bate e volta, marca um ponto*”;

Estudante P: “*É aqui doido... ela passou aqui e bateu*”;

Em seguida foram feitos comentários acerca das dificuldades enfrentadas por eles (os estudantes) durante a atividade, bem como do experimento de espalhamento realizado por Rutherford e seus assistentes. A maioria dos estudantes se posicionou sobre as dificuldades encontradas para revelarem os obstáculos escondidos na placa, e mencionaram que a imaginação tinha um papel muito importante nesta revelação.

Após esta etapa da oficina, solicitamos que as equipes mostrassem os desenhos das trajetórias. Durante as apresentações seguiram-se muitas risadas e comentários do tipo: “*nada haver*”, “*o que é isso*”, “*não chegamos nem perto*”. Ao compararem com as configurações dos obstáculos das placas, reveladas naquele momento. A (Fig.10), faz referência aos desenhos produzidos pelas equipes para cada tipo de configuração de obstáculo anteriormente apresentados.

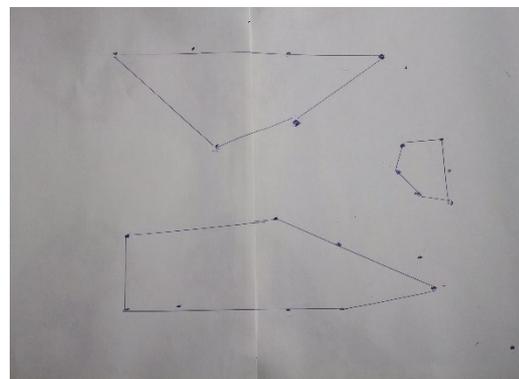
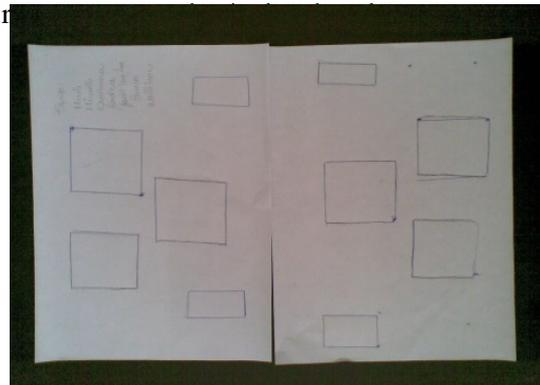
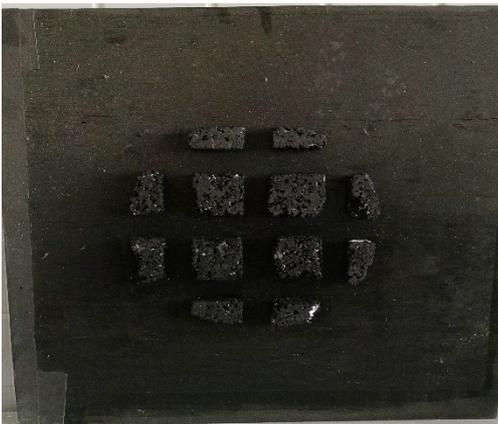
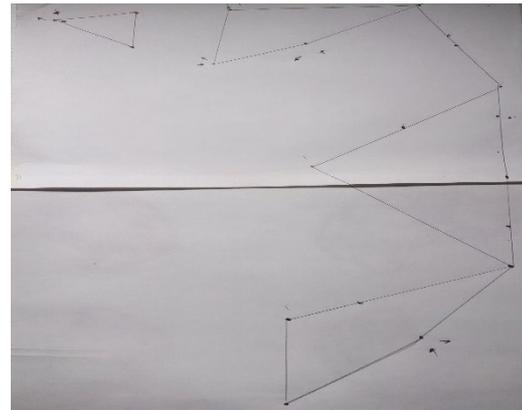
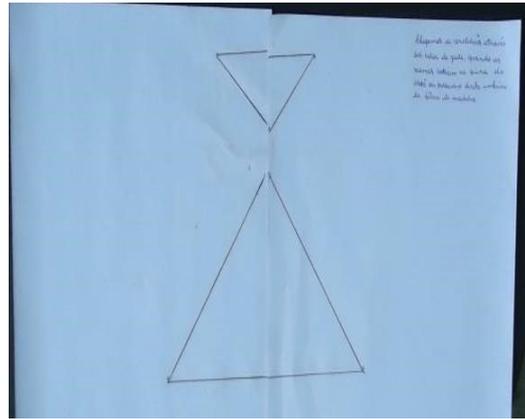
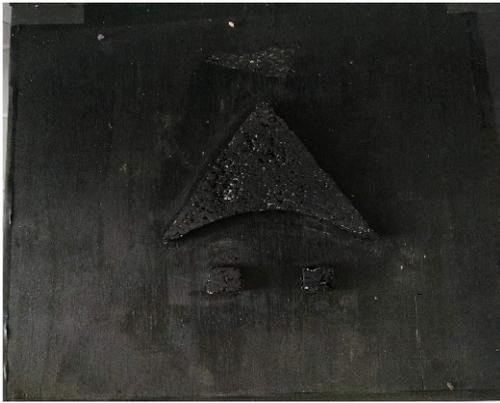


Figura 10 - Desenhos produzidos pelas equipes para

### Considerações sobre a quarta intervenção

Chegada uma das etapas finais de nosso estudo, conseguimos atingir alguns objetivos e identificar dificuldades que atrapalharam o desenrolar da primeira aula, ligadas especialmente a falta de participação dos estudantes ao longo da discussão do texto 3.

Apesar disso, as respostas para as questões do texto foram boas e mostraram uma evolução do ponto de vista conceitual, além da compreensão de aspectos históricos sobre a investigação científica, e da detecção do núcleo atômico, que muitas vezes é atribuída apenas a Rutherford.

A compreensão de que o trabalho científico está sujeito a questionamentos e falhas, fazia com que os estudantes refletissem mais quando respondiam as questões.

Durante a atividade “o segredo do invisível”, percebemos que os estudantes conseguiram compreender algumas características da investigação sobre o interior da matéria, especialmente no que diz respeito à visualização dos fenômenos, importância da imaginação e o embasamento teórico que os pesquisadores deveriam ter para explicar os fenômenos estudados. Isso foi observado nas colocações dos estudantes ao longo da atividade, a qual pode ser utilizada como uma forma de estimular a criatividade e participação dos mesmos. Para que isso seja possível é necessária a participação ativa do professor durante a realização do experimento, tanto lançando questões sobre as características da investigação sobre o átomo como observando o desempenho de cada equipe.

Acreditamos que a intervenção foi proveitosa e as atividades desenvolvidas trouxeram importantes observações para as próximas aulas.

## 6.5 Quinta intervenção

### 9ª aula

Nesta aula abordamos as dificuldades existentes para explicar os fenômenos atômicos por meio da Física clássica. De início foi realizada a problematização a respeito das dificuldades envolvendo a interpretação de Rutherford, especialmente o colapso do átomo. Para isso, foram levantadas questões da aula anterior, através da exposição de slides.

Durantes esse momento os estudantes apresentaram algumas respostas quando questionados sobre o tema.

**Estudante T:** “*era o colapso lá nas cargas*”;

**Estudante P:** “*mas tinha a instabilidade*”;

**Estudante M:** “*era por causa da energia que tinha lá nas cargas*”.

Na sequência entregamos o texto 4, intitulado: “*Se ‘arriscando’ em território desconhecido: Bohr e o átomo quantizado*”, do qual os estudantes deveriam fazer uma leitura individual, selecionando partes do texto que lhe chamassem atenção para uma discussão posterior. Numa sondagem preliminar foi possível identificar que os destaques realizados pelos estudantes para o conteúdo do texto concentravam-se na última parte, que apresentava os postulados de Bohr.

### 10<sup>a</sup> aula

Tomando como referência as questões levantadas na aula anterior e as ideias embrionárias da nova Física que começava a dar seus primeiros passos, iniciamos o estudo dos principais aspectos da interpretação de Bohr. Para tratar desses temas, tentamos desenvolver um estudo mais aprofundado do texto. Inicialmente foi pedido para que os estudantes apresentassem o que haviam selecionado no texto e percebemos um destaque acentuado ao conceito de quantização e em relação aos postulados de Bohr, conforme descrito abaixo

**Estudante E:** “*Essa coisa aqui de energia tá complicado*”;

**Estudante J:** “*essa parte daqui do final... que tem o  $E$  (energia associada a cada órbita  $h\nu = E_i - E_f$ )*”.

Como forma de trabalharmos questionamentos como esses, fizemos uma nova releitura do texto, utilizando como recurso a apresentação de slides, contendo as questões mais importantes do mesmo. Ao longo da apresentação sempre se buscava um diálogo com os estudantes, por meio de questionamentos e considerações acerca das informações trazidas no texto.

Partindo para a segunda parte do texto, “*Trilhando novos caminhos sobre a constituição de átomos e moléculas*”, retomamos a problematização inicial, mas desta vez também tratamos das influências sofridas por Bohr durante o desenvolvimento de suas pesquisas sobre o átomo.

Percebemos que os estudantes apresentaram maiores dificuldades em relação ao conceito de quantização, no entanto, em relação aos “saltos” dos elétrons e das órbitas estacionárias não identificamos maiores dificuldades. A partir daí buscamos dar ênfase as modificações sugeridas pela interpretação de Bohr e encerramos a aula com uma proposta de atividade, que consistia na resolução de algumas questões que deveriam ser respondidas individualmente. A (Fig.11), ilustra alguns momentos da quinta intervenção.



Figura 11- Momentos da quinta intervenção.

### Considerações sobre a quinta intervenção

Depois de trabalharmos o texto 4, detectamos dificuldades de interpretação dos estudantes ao se depararem com alguns conceitos físicos trazidos ao longo da leitura.

Por outro lado, durante o andamento das atividades, notamos que os estudantes conseguiram fazer a diferenciação entre os conceitos físicos atribuídos ao modelo de Rutherford em meio a interpretação de Bohr, além de um bom desempenho quando questionados a respeito das mudanças introduzidas por Bohr. Não obstante, algumas dificuldades se mostraram bem evidentes, a exemplo do conceito de quantização da energia, que necessitaria de uma melhor estratégia metodológica para ser abordada em sala de aula

Contudo, acreditamos que a intervenção tenha sido proveitosa, uma vez que permitiu aos estudantes o contato com ideias importantes relacionadas a um período de mudanças na física do começo do século XX, que posteriormente refletiram no desenvolvimento da física moderna e contemporânea.

### 6.6 Sexta intervenção

#### 11ª aula

Nesta última aula realizada buscamos fazer uma retomada das discussões ocorridas ao longo dos encontros, por meio de uma atividade que estimulasse a participação dos estudantes acerca do que haviam estudado. Iniciamos com a proposta de atividade, na qual os estudantes novamente divididos em equipes, igualmente as das primeiras intervenções (equipe A; equipe B; equipe C e equipe D) deveriam confeccionar um portfólio com ilustrações e frases acerca das diversas interpretações para o átomo.

Solicitamos que cada equipe tivesse um representante para coordenar as ações da equipe, e este deveria retirar de uma caixa folhetos com perguntas e afirmações sobre todas as interpretações estudadas. Cada equipe teria um tempo de dois minutos para decidir acerca das perguntas e afirmações retiradas da caixa e havendo um consenso de todos. O representante da equipe deveria fixá-la no painel ao lado da imagem do responsável por aquela interpretação. A (Fig.12), ilustra o painel confeccionado para esta atividade.



Figura 12- Painéis confeccionados para a atividade do portfólio

Iniciamos o primeiro sorteio, realizado pela **equipe A**. No folheto a informação: “*O átomo seria uma esfera maciça, composta por uma carga elétrica positiva e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos. Quanto mais próximo do núcleo da esfera, maior seria o número de corpúsculos*”. No momento houve discordância dos membros das equipes para afixarem o folheto no painel, uma vez que o **Estudante M** respondeu: “*É de Nagaoka...Nagaoka*”. Perguntado novamente, ele não se sentiu seguro e ficou em silêncio. Foi aí que o **estudante J**, da equipe D, replicou: “*Era de Thomson ... era ele quem dizia isso*”. Havendo a concordância o representante da equipe A afixou o folheto abaixo da imagem de Thomson.

Seguindo para o segundo sorteio, a **equipe B** ficou com a seguinte pergunta: *Por que um mesmo fenômeno da natureza pode ser interpretado de várias maneiras?* De imediato, o estudante E da **equipe C**, nem esperou a resposta e disse:

**Estudante E:** “É porque depende da visão de cada um”.

Quando perguntados sobre o caso dos modelos atômicos, o estudante M, respondeu:

**Estudante M:** “por que cada um pensa diferente”,

Ainda sobre o assunto, o estudante W comentou:

**Estudante W:** “Eles queriam explicar melhor professor... cada um queria explicar melhor”.

Prolongando a discussão, foi perguntado aos estudantes se outros fatores contribuíam para essas diferentes visões. A maioria concordou que o ambiente onde os pesquisadores viviam ou as condições experimentais também tiveram um papel importante nas interpretações. Vejamos as ideias apresentadas por dois estudantes.

**Estudante J:** *“tinha influência disso tudo”*,

**Estudante P:** *“Por causa dos experimentos que era diferente”*.

Passada essa discussão, partimos para um novo sorteio, onde a **equipe C**, que sorteou a pergunta: *“ Houve contribuição de outros pesquisadores na sua investigação”*. Nesse momento o alvoroço foi grande e todos os integrantes da equipe responderam.

**Estudante E:** *“A de Thomson... foi a de Thomson”*;

**Estudante S:** *“Nagaoka, Rutherford”*;

**Estudante J:** *“Bohr... foi também Bohr”*.

Todos os estudantes participaram da discussão e opinaram sobre a influência de outros cientistas e ou pesquisadores para todas as investigações.

Prosseguindo com a atividade, a **equipe D** retirou da caixa o seguinte folheto: *“quantização a explicação do átomo. E o que viria a ser essa quantização?”*. Após a leitura, os estudantes E e W, ambos da **equipe D**, comentaram:

**Estudante E:** *“Foi Niels Bohr que fez... e a quantização”*.

**Estudante W:** *“tinha haver com a energia em quantidade”*.

Depois dessas respostas, o professor mediu as discussões e teceu algumas considerações sobre o conceito de quantização e seu papel na interpretação de Bohr.

Seguimos para uma segunda rodada de sorteio, que teve início com a **equipe C**. A questão sorteada foi a seguinte: *“Qual interpretação tinha maior estabilidade? E por quê?”*. No mesmo instante, vários alunos responderam: *“foi a de Thomson!”*. Nesse momento, aconteceu contestação na sala por outros estudantes.

**Estudante T:** *“Esse outro aqui também... o de Bohr”*. (Apontando para a foto de Bohr)

**Estudante J:** *“É esse mesmo... Era o de Bohr também”*.

Continuando com o sorteio, chegou à vez da **equipe D**, que tirou da caixa a seguinte questão: “*Qual interpretação não conseguia explicar os desvios das partículas alfa? E como eles poderiam ser explicados?*” Dois estudantes da equipe responderam, “*Foi a interpretação de Rutherford*”. Logo em seguida os estudantes M e W apresentaram as seguintes respostas.

**Estudante M:** “*Foi a de Nagaoka*”;

**Estudante W:** “*Foi o de Thomson também... é certo*”.

Em relação à segunda questão, dois estudantes mencionaram.

**Estudante E:** “*Era por causa do átomo... do núcleo do átomo que era menor com o núcleo que Rutherford viu*”.

**Estudante P:** “*No de Thomson era maior... não dava*”.

Após algumas considerações realizadas pelo professor sobre as respostas apresentadas pelos estudantes E e P, seguimos para a o sorteio da **equipe B**, que retirou o seguinte questionamento: “*Essa interpretação não conseguia explicar átomos com mais de dois elétrons. Por qual motivo?*”.

A turma não se manifestou, nem opinou sobre o assunto, cabendo ao professor fazer algumas considerações sobre este questionamento.

Partindo para o último sorteio, a **equipe A**, retirou da caixa a questão: “*Qual das interpretações sofreu críticas? Por quais motivos?*” Os estudantes de diversas equipes participaram como descrito a seguir:

**Estudante M:** “*A de Bohr... por causa das cargas*”. (Equipe A)

**Estudante S:** “*A de Nagaoka... do colapso*”. (Equipe B)

**Estudante W:** “*A de Thomson... e Rutherford também... todos*”.

Logo depois, fizemos algumas considerações sobre o nosso estudo e com isso encerramos a sexta intervenção. A (Fig.13) ilustra alguns momentos das equipes construindo o portfólio.



Figura 13- Momentos das equipes construindo o portfólio

### Considerações sobre a sexta intervenção

Nesta intervenção realizamos uma culminância acerca de todas as aulas, por meio da discussão e elaboração de um portfólio. Por meio dele, conseguimos detectar aspectos relevantes sobre a execução da proposta didática elaborada.

Inicialmente destacamos o debate e a divergência de opiniões entre os estudantes, que possibilitou, por meio dos questionamentos, a exposição do conhecimento dos mesmos sobre aspectos importantes que foram trabalhados ao longo de nossas intervenções, tais como: as controvérsias entre os cientistas, a coletividade na construção da ciência, os fatores que contribuem para o desenvolvimento científico e a importância dos modelos atômicos para a compreensão dos conceitos de FMC.

Em vários momentos tivemos êxito ao desenvolvê-los, porém os problemas surgiram fazendo-se necessárias mudanças para a elaboração de novas estratégias, sempre na busca de uma abordagem que permita aos estudantes a reflexão sobre o conteúdo abordado em sala de aula, permitindo-os o diálogo e a reflexão crítica sobre o conhecimento adquirido.

Consideramos que de um modo geral, obtivemos resultados interessantes, que contribuíram para o ensino de (FMC) no ensino médio.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nossa caminhada até aqui, enfrentamos muitos obstáculos, talvez um dos maiores tenha sido a carência de um material adequado que nos ajudasse na abordagem do tema numa perspectiva histórica e conceitual, direcionada para o ensino médio.

A grande maioria dos materiais que encontramos em livros, sites da internet, artigos e revistas traziam o tema numa perspectiva CTS, sem praticamente nenhuma preocupação com o tipo de discussão que queríamos trazer acerca de como os modelos atômicos foram construídos e sua importância na compreensão da construção do conhecimento científico. Trabalhando nessa perspectiva, tivemos dificuldades para encontrar um material que estivesse ligado tanto a nossa discussão histórica como aos conceitos de FMC sobre os modelos.

Ao partirmos para a pesquisa histórica, após alguns meses de investigação, conseguimos encontrar um bom material, que nos serviu de base para a pesquisa teórica e aprofundamento dos conhecimentos sobre o tema estudado.

De posse dessa pesquisa, enfrentamos novos desafios, pois tínhamos que pensar agora em estratégias para trabalhar o tema com estudantes do ensino médio, como fazer a transposição didática? Como adequar a linguagem sem comprometer o texto original? Para resolvermos tais questões, buscamos auxílio nas principais características da transposição didática. Seguindo algumas dessas características, tentamos adequar à linguagem dos textos que eram produzidos.

Nesses textos, destinados aos estudantes, tentamos destacar pontos-chaves das discussões que pretendíamos realizar (os aspectos históricos e conceituais) visando sempre manter a fidelidade do texto original. Pensamos bastante no tamanho desses textos em virtude das discussões que pretendíamos realizar, uma vez que se os textos fossem longos aumentaríamos o tempo de leitura e reduziríamos o tempo de debates sobre os mesmos. Acreditamos que nesse sentido conseguimos resultados positivos, apesar da dificuldade de se trabalhar a leitura com os estudantes.

Ao término da elaboração dos textos, fomos à procura de estratégias para trabalhá-los em sala de aula. Para isso, fizemos uma nova investigação, que resultou na preparação das atividades conhecidas, como a dinâmica das caixas e o experimento intitulado “o segredo do indivisível”. Em seguida, aperfeiçoamos cada uma delas com metodologias próprias, além da construção do desenvolvimento de outras atividades, que estimulassem a participação dos estudantes tanto individualmente como em grupo. Dentre as estratégias que mais utilizamos estavam os debates, que ao longo das aulas geraram discussões interessantes, principalmente

entre as equipes que se formavam. Isso fez com que os estudantes se envolvessem com cada um dos textos apresentados.

Em meio a essas discussões percebemos as dificuldades dos estudantes na compreensão de alguns conceitos, que nos fizeram refletir bastante acerca de possíveis modificações em nossas intervenções. Uma delas diz respeito ao tempo para o desenvolvimento de cada atividade, que apesar de conseguirmos trabalhar o que estava programado para cada aula, sentíamos que as discussões podiam ter sido mais ricas, se tivéssemos mais tempo ou se o dividíssemos melhor.

Na atividade com as caixinhas, por exemplo, os estudantes conseguiram construir seus próprios modelos para a explicação dos objetos contidos em cada uma delas. Isso possibilitou discussões interessantes nas quais defendiam suas ideias, por meio da apresentação de diferentes hipóteses. Apesar de a atividade ter apresentado resultados positivos, sentimos a necessidade de um tempo maior para aprofundarmos mais as discussões sobre aspectos importantes da construção do conhecimento científico, bem como a associação com os modelos atômicos.

Outro obstáculo que enfrentamos era a dificuldade de leitura e interpretação de uma boa parte da turma, principalmente pela falta de concentração e em alguns momentos durante a exposição das ideias. Por outro lado, os estudantes percebiam algo diferente na forma com que estavam discutindo sobre física, muitos chegavam a comentar "*se aquilo era física mesmo*", pois na maioria das vezes o estudo não se dava daquela forma e sim "*resolvendo um monte de contas*".

Em situações como essas notávamos o quanto a discussão dos conteúdos era nova para os estudantes. Geralmente eles estão acostumados a reproduzirem o conhecimento sem nenhum espaço para questionamentos. Um conhecimento pronto e repleto de um formalismo matemático, no qual o professor oferece poucas chances para a interpretação física dos fenômenos.

Esse cenário começa a se modificar com o transcorrer das aulas, uma vez que os estudantes se sentiam numa posição confortável para questionarem o que estava sendo apresentado. Esse fato foi bastante interessante e fez com que as aulas tivessem um bom andamento, tornando possível o diálogo entre professor e aluno acerca do conhecimento trabalhado em cada aula.

Na primeira intervenção, por exemplo, alguns estudantes apresentaram seus conhecimentos prévios sobre os modelos atômicos, que na maioria das vezes trás o conceito

de modelo como sendo uma representação real da natureza e não como uma construção científica e social sujeitas a modificações.

A fim de superar essa problemática, abordávamos as características de cada um dos modelos atômicos, destacando aspectos da produção do conhecimento científico, como as transformações que ele pode sofrer bem como da influência de diversos fatores considerados extracientíficos. Trabalhando dessa forma conseguimos avanços importantes, principalmente quando incentivávamos os estudantes a confrontarem as ideias contidas em cada interpretação para o átomo.

À medida que apresentávamos determinada interpretação, os estudantes acreditavam que ela poderia condizer com a realidade. No entanto, algo novo surgia fazendo com que o modelo gerado por essa interpretação não explicasse por completo os fenômenos observados. Esse fato gerava dúvidas problematizando a aula, contribuindo para que os estudantes dialogassem sobre as interpretações e refletissem sobre as problemáticas que os modelos poderiam apresentar.

Ao longo dessas discussões, conseguimos perceber o quanto é forte a ideia que os estudantes têm de que os átomos foram descobertos e em seguida estudados. Em meio a essa dificuldade tentamos trabalhar a concepção de que o átomo não foi descoberto e sim teorias foram construídas para tentar explicar os fenômenos associados a ele.

No decorrer de nossas intervenções ressaltamos bem essa ideia para que eles entendessem como o pensamento científico pode evoluir perante uma mesma realidade. Tentamos enfatizar também o quanto podem existir diferentes olhares para um mesmo fenômeno da natureza e quem se modificam são os modelos e não a realidade.

Nessa perspectiva obtivemos resultados positivos, justamente por plantarmos a dúvida no momento em que mudávamos de um modelo para o outro. No entanto, os estudantes sentiam dificuldades em perceber as limitações dos mesmos, apesar de conseguirem diferenciar suas principais características físicas.

Nossa hipótese para esse caso é de que não explicitamos como determinado modelo poderia ser mais adequado do que outro para explicar certos fenômenos. Isso não comprometeu nosso estudo, mas deve ser observado para futuras investigações tendo como objetivo principal uma compreensão mais completa dos modelos atômicos, como salientado por Chassot (2001, p. 259).

Os modelos avançaram para formas cada vez mais poderosas, abrangentes e úteis para explicar a realidade ao longo da história da ciência. Para o aluno, não fica claro até que momento se pode ou não trabalhar com um

determinado modelo, quando é necessário um conhecimento maior e quais as necessidades reais que levaram à elaboração de um modelo mais aprimorado (Chassot, 2001, p. 259).

Esse ponto é muito importante ao se trabalhar os modelos na ciência, uma vez que os estudantes precisam perceber que esses são provisórios e susceptíveis a aperfeiçoamentos. Nesse sentido torna-se viável o incentivo do professor para que os estudantes tentem representar de alguma forma suas próprias representações dos modelos.

Durante nossas intervenções exploramos a representação de um dos modelos com a atividade, “modelo ampliado”, na qual os estudantes tiveram a oportunidade de criarem seus próprios modelos para a matéria a partir da concepção de modelo atômico. Com essa representação tentamos discutir características do modelo de Bohr e qual a forma mais adequada de representá-lo. Essa atividade também nos serviu para observarmos as limitações de cada representação e as dificuldades enfrentadas pelos estudantes na compreensão de alguns conceitos.

Partindo agora para os conceitos de FMC, tentamos trabalhar conceitos chaves como quantização de carga e da energia e níveis de energia. Assim como nos estudos anteriores tivemos pontos positivos e negativos. Inicialmente conseguimos problematizar situações nas quais se tornava necessário à introdução de novas ideias, que em alguns momentos entravam em conflito com as interpretações anteriores e com a física clássica, mas que os estudantes entendiam ser necessárias para a explicação de características dos átomos.

Por outro lado, os estudantes sentiam dificuldades na compreensão do conceito de quantização de energia no momento em que os elétrons realizavam a mudança dos níveis de energia. Nesse caso, percebemos que falhamos no momento de explorarmos o estudo sobre tal assunto. Acreditamos que deveríamos ter dado uma atenção maior para o tema e desenvolvermos algum tipo de estratégia para trabalhá-lo. Entretanto, levantamos uma discussão acerca de uma fase de mudanças na física, que possibilitaram aos estudantes entenderem um pouco sobre a transição entre duas grandes áreas da física, os conflitos entre as interpretações, a ousadia de alguns cientistas em proporem arriscarem-se em território desconhecido e os impactos de suas ideias para o conhecimento científico de sua época.

Contudo, a experiência em sala nos mostrou que por meio de estratégias diferenciadas é possível se trabalhar conceitos de FMC e através do conhecimento histórico e conceitual pode-se obter grandes resultados, trazendo para os estudantes do ensino médio uma visão mais complexa da ciência e da construção do conhecimento científico.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. S. Niels Bohr. **Scientific American Gênios da Ciência, Ed. Especial: Físicos Quânticos**, n.13, p.6-43, 2005.
- ALMEIDA, Geraldo Peçanha de. **Transposição Didática: por onde começar?** 2. ed. São Paulo: Cortez, 71 p, 2011.
- ALVES- FILHO, J.P. **Atividades Experimentais: Do Método à Prática Construtivista**. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2000.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M.; **Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna? Investigações em Ensino de Ciências** (Online), UFRGS - Porto Alegre - RS, v. 10, n. 3, p. 1-17. 2005.
- BAILY, C. **Atomic Modeling in the Early 20<sup>th</sup> Century: 1904-1913**. University of Colorado, Boulder Department of Physics, 2008.
- BOHR, N. **The structure of the atom**. Nobel Lecture, p. 14-37, 1922.
- BOHR, N. **On the Constitution of Atoms and Molecules**. Philosophical Magazine. Series 6, Vol. 26.p. 1-25, 1913.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2002.
- CHASSOT, A. **Alfabetização científica**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2001. Sobre prováveis modelos de átomos. *Química Nova na Escola*, n. 3, maio 1996.
- CHEVALLARD, Y. **La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Enseigné**. Grenoble, La pensée Sauvage, 1991.
- CHIARELLI, R.A. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: é possível abordar conceitos de Mecânica Quântica**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2006.
- EL-HANI, C.N. **In Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior, organizado por C.C. Silva, Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.
- FIOLHAS, M e RUIVO C. D. M. **O Modelo Atômico Saturniano de Nagaoka**. Departamento de Física, Universidade de Coimbra, *Gazeta da Física*, V.19, p.7, 1996.
- FORATO, T. C. M. **A natureza da Ciência como Saber Escolar: um de estudo de caso a partir da história da luz**. Tese de Doutorado em Educação. São Paulo: FEUSP, 2009.2 vols.

FREIRE JR., O. CARVALHO NETO, R.A. de. **O universo dos quanta: uma breve história da física moderna.** São Paulo: FTD, 1997.

HEILBRON, J.L. **Thomson, Joseph Joh**, in Gillispie, C.C. (org.) **Dictionary of Scientific Biography**, Vols. 13-14, Nova York: Charles Scribner's Sons, p. 362, 1981.

HELIBRON, J.L. **Rutherford- Bohr atom.** American Journal of Physics., 1981, p.1-19.

GIL-PÉREZ, D., SENENT, F.D., SOLBES, J. **Física Moderna em la enseñanza secundaria: una propuesta fundamentada y unos resultados**, Revista Espanhola de Física, v. 3, n.1, p. 53-58, 1989.

KRAGH, H. **Niels Bohr and the Quantum Atom: The Bohr Model of Atomic Structure 1913 1913-1925.** Oxford University Press. ed.1, 2012.

LOCH, J; GARCIA, N. M.D. **Física Moderna e Contemporânea na sala de aula do ensino médio.** VIENPEC. Florianópolis, 2009.

LOPES, MACHADO C.V. **Modelos atômicos do início do século XX: da física clássica a introdução à teoria quântica.** Tese de doutorado, PUC-São Paulo, 2009.

LOPES, M. C.V, MARTINS, R. A. **Thompson e o uso de analogias para explicar os Modelos Atômicos.** VII ENPEC. Florianópolis, 2009.

MARSHALL, R. **The birth of the atomic nucleus.** School of Physics and Astronomy, University of Manchester, England.NO 1-2. Vol. 26. 2010.

MARTINS, R. A. **Introdução: A História das Ciências e seus usos na Educação. In: SILVA, C. Celestino (Org.) Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R. A. **Como não, escrever sobre história da física - um manifesto historiográfico.** Revista Brasileira de Ensino de Física 23 (1): p. 113–129, 2001.

MARTINS, R. A. **Becquerel e a descoberta da Radioatividade: uma análise crítica.** Campina Grande, EDUEPB, Livraria da Física, p.23 – 40, 2012.

MATTHEWS, M.R., **Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual**, Enseñanza de las Ciencias. 12(2), pp 255-277,1994.

MELO, M.R; NETO, EDIMILSON GOMES L.N. **Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química**, Química nova na escola, Vol.35, Nº 2, p.112-122, 2013.

MOREIRA, ILDEU. C. **Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron Tradução e notas.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.19, nº. 3 , p.299-307,1997.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. **A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.** Ciência & Educação, Bauru, v. 15, n. 3, 2009.

NOBELPRIZE, **Ernest Rutherford – Biographical**. Disponível em:  
<[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-bio.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-bio.html)>. Acesso em 5 de janeiro de 2013.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M.A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”**. Investigações em Ensino de Ciências, v.5, n.1, p. 23-48, 2000.

PEDUZZI, LUIZ. O.Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo Grego ao átomo de Bohr**. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Física. Florianópolis – SC, p. 178 – 210, 2008.

PEDUZZI, L. O. Q. **Sobre a utilização didática da História da Ciência**. In: Pietrocola, M. (org.). Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC (2004).

PIETROCOLA, M. **Tendências atuais no ensino de Física Básica**. Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP. 2010.

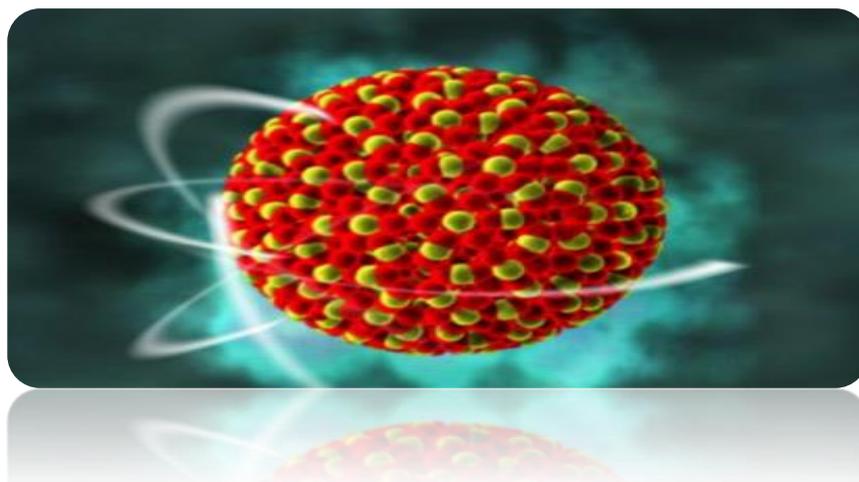
RIBEIRO, F.A. **Os quanta e a física moderna in:** Rocha, José Fernando (org.). Origens e evolução das ideias da física. Salvador: EDUFBA, p.330, 2002.

RUTHERFORD, E. **“The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of Atom”**. Philosophical Magazine [6]. Vol. 21, p.669-688, 1911.

RUTHERFORD’S. **Nuclear Word**. Disponível em:  
<<http://www.aip.org/history/exhibits/rutherford/sections/alpha-particles-atom.html>> Acesso em 4 de janeiro de 2013.

## APÊNDICE A – MÓDULOS DIDÁTICOS

### AS INTERPRETAÇÕES PARA A ESTRUTURA ATÔMICA ENTRE O FINAL DO SÉCULO XIX E INÍCIO DO SÉCULO XX.



## SUMÁRIO

### **1. Introdução.**

#### **2. Texto 1: A interpretação de J.J Thomson para o mundo do invisível.**

2.1. O átomo na visão de Thomson

2.2. A estrutura e características físicas

2.3. Atividades sugeridas

#### **3. Texto 2: Do Macrocosmo ao Microcosmo: A formação do modelo núcleo-planetário de Nagaoka.**

3.1. O Modelo Saturniano

3.2. Os problemas

3.3. Atividade sugerida

#### **4. Texto 3: Bombardeando o desconhecido: A visão de Rutherford para o átomo nuclear.**

4.1. “A bala desviando no papel”: A “descoberta” do núcleo e a interpretação de Rutherford

4.2. A explicação de Rutherford

4.3. Atividades sugeridas

#### **5. Texto 4: se “arriscando” em território desconhecido: Bohr e o átomo quantizado.**

5.1. Trilhando novos caminhos “sobre a constituição de átomos e moléculas”

5.2. As considerações fundamentais do “programa”: Um novo olhar para a matéria

5.3. Atividades sugeridas

---

## UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E CONCEITUAL DOS ESTUDOS SOBRE A ESTRUTURA DA MATÉRIA ENTRE O FINAL DO SÉCULO XIX E INÍCIO DO SÉCULO XX

---

### INTRODUÇÃO

Ao longo de sua história a Humanidade vive numa intensa busca por conhecimento sobre o mundo. Os motivos são os mais variados, desde a necessidade por sobrevivência à simples curiosidade em compreender a natureza. Por outro lado, a maneira como esse conhecimento constitui-se é complicada e envolve muitos fatores, que de alguma forma contribuem para a construção de uma visão sobre a ciência.

Muitas vezes, quando ouvimos falar de alguma “descoberta” científica, geralmente ela está ligada ao nome de alguém. Por exemplo, **a teoria de Newton, de Darwin, de Galileu, de Einstein** etc. Essas pessoas são consideradas “**grandes gênios**”, que revolucionaram a ciência. No entanto, até que ponto isso é verdade? Será que um conhecimento científico é feito por indivíduos especiais, iluminados ou vindos de outro planeta?

Para entendermos melhor questões como essas, vamos adotar um caso mais específico, envolvendo o conhecimento sobre a estrutura da matéria. Nosso estudo ocorrerá de uma forma diferente da que aparece nos livros de química e física. Em nossa caminhada faremos uso da física e da história, mas não a historiografia e sim da história da ciência.

O nosso estudo se concentrará entre meados do final do século XIX até o começo do século XX. Neste período exploraremos as principais teorias que tentaram explicar os fenômenos que acontecem no interior da matéria. Começando com as ideias de J.J Thomson, partindo para interpretação de Hantaro Nagaoka, depois para o modelo de Rutherford e por último a visão de Niels Bohr.

## 2. A INTERPRETAÇÃO DE J.J THOMSON PARA O MUNDO DO INVISÍVEL.

Há muitos séculos o ser humano tenta compreender como todas as coisas da natureza foram formadas. À medida que os estudos avançaram a curiosidade, os métodos e as explicações se desenvolveram. Com isso vieram às discussões sobre qual a melhor maneira de descrever aquilo que não conseguimos observar, denominado pelos gregos antigos de átomo “sem divisão”. A tarefa não foi fácil, tanto que hoje ainda existem intensas pesquisas sendo realizadas sobre o tema.

No final do século XIX uma das áreas da ciência que mais contribuiu para as investigações sobre esse tema foi a física. Nesse período, ela estava trazendo muitas inovações para a sociedade, podemos dizer que era a sensação do momento.

Nesse contexto, nasceu em 18 de Abril de 1856 na cidade de Cheetham Hill, Joseph John Thomson (fig.1), um dedicado físico experimental que ficou conhecido em várias partes da Europa.

Suas pesquisas estavam concentradas na interação entre eletricidade e matéria, mais especificamente com os **raios catódicos**, além de grande dedicação em compreender a estrutura do átomo.

Atualmente quando se fala em seu trabalho sobre o átomo remete-se ao modelo atômico que ficou conhecido como “**modelo de pudim de passas**”. Mas será que essa comparação é correta? Vamos conferir.



Figura 1: J.J Thomson (1856-1940). Fonte: <[http://en.wikipedia.org/wiki/J.\\_J.\\_Thomson](http://en.wikipedia.org/wiki/J._J._Thomson)>

### 2.1. O átomo na visão de Thomson

Como resultado de suas investigações e da influência de trabalhos de outros pesquisadores de sua época, **Thomson não desenvolveu apenas um modelo para o átomo**, pelo contrário, ele fez várias tentativas que necessitaram de muitos estudos teóricos e experimentais, e que foram criticadas por pessoas da comunidade científica.

Entre as propostas apresentadas por Thomson, uma ganhou destaque e foi apresentada em março de 1904, no artigo intitulado *Electricity and Matter* (Eletricidade e Matéria). Nesse trabalho ele descreve o átomo da seguinte forma:

[...] Nós temos primeiramente uma esfera positiva uniformemente eletrificada, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos, o número de corpúsculos varia de anel para anel: cada corpúsculo está girando em alta velocidade na circunferência do anel que está

situado, e os anéis estão distribuídos de forma que os com maior número de corpúsculos estão próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles com menor número de corpúsculos estão mais internos [...] (THOMSON, 1904a, pp. 254-255, apud LOPES e MARTINS, p.6)

Parece difícil de entender, mas vamos tentar fazer isso analisando a estrutura do modelo juntamente com suas características físicas.

## 2.2. ESTRUTURA E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

De acordo com as palavras de Thomson o átomo apresenta uma dinâmica muito intensa. Em sua descrição existiria uma carga elétrica positiva que ocuparia a maior parte do átomo. Sobre essa carga vários corpúsculos estariam dentro de anéis (fig.2) se movimentando em todas as direções. Essas partículas, que pouco tempo depois foram denominadas elétrons, possuíam massa muito pequena em relação ao tamanho do átomo.

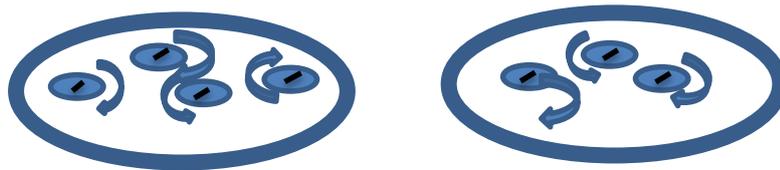


Figura 2: corpúsculos movendo-se dentro de anéis coplanares

Quanto mais próximo do centro do átomo se estivesse maior seria a quantidade delas movimentando-se nos anéis. **A carga positiva**, por ser muito grande, **atrairia todos os elétrons para a sua superfície**. É aí que vem a pergunta: **Se as cargas possuem sinais contrários porque os elétrons não ficavam “presos”?**

Para Thomson isso não poderia acontecer devido aos elétrons possuírem cargas negativas, dessa forma, estariam se repelindo a todo instante. Isso causaria neles movimentos em todas as direções sobre a superfície da carga positiva numa espécie de competição entre forças.

Com esse modelo, Thomson conseguiu explicar algumas características dos átomos mantendo um equilíbrio entre as cargas elétricas. Ele também obteve sucesso ao tentar explicar a ligação entre átomos com poucos elétrons.

A partir dessas considerações podemos dizer que **o modelo de Thomson era perfeito?** Não é bem assim. Havia algumas dificuldades em se pensar o átomo da forma que Thomson.

Era simples imaginar dois ou três elétrons se movimentando na superfície da carga positiva. Imagine agora se você tem dezenas ou até centenas dessas cargas negativas espalhadas

por toda a superfície e tem que calcular seus movimentos ou as forças entre elas. Seria bastante complicado e praticamente impossível.

Outro problema aparecia quando os elétrons começavam a se concentrarem no centro da esfera positiva. Nesse momento eles saíam da mesma superfície e passariam a formar espécies de camadas concêntricas como as cascas de uma cebola.

Por esses e outros problemas o modelo de Thomson sofreu críticas. Apesar disso Thomson não desistiu, pelo contrário, ele buscou alternativas para manter o equilíbrio das cargas, através das combinações químicas entre os átomos.

Essa preocupação fez com que o átomo de J.J Thomson fornecesse uma base sólida para o desenvolvimento de áreas da Química como química quântica, físico-química e química orgânica (BAILY, 2008, p.18).

### 2.3. ATIVIDADES SUGERIDAS

Considerando as discussões que fizemos até agora sobre a interpretação de Thomson até aqui, vamos tentar responder às seguintes questões:

1. Com todas as características que vimos sobre o modelo de Thomson, como poderíamos representa-lo? Será que um pudim de passas é uma boa comparação?
2. Considerando os textos que você estudou e as discussões realizadas em sala, explique:
  - (a) Um argumento para defender o modelo de Thomson;
  - (b) Um argumento para rejeitar seu modelo;
  - (c) Quais as principais preocupações de Thomson;
  - (d) O modelo de Thomson dependeu apenas de sua astúcia e de seus experimentos?
3. Explique as características físicas do modelo de Thomson que estão relacionadas à estabilidade.

→ **MOMENTO DE REFLEXÃO:** Oficina Modelo Ampliado

#### REFERÊNCIAS

BAILY, C. **Atomic Modeling in the Early 20<sup>th</sup> Century: 1904-1913**. University of Colorado, Boulder Department of Physics, 2008.

LOPES, MACHADO C.V. **Modelos atômicos do início do século XX: da física clássica a introdução à teoria quântica**. Tese de doutorado, PUC-São Paulo, 2009.

MOREIRA, ILDEU. C. **Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron Tradução e notas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.19, nº. 3 , p.299-307,1997.

PEDUZZI, LUIZ. O.Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo Grego ao átomo de Bohr**. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Física. Florianópolis – SC, p. 178 – 210, 2008.

RIBEIRO, F.A. **Os quanta e a física moderna** In: Rocha, José Fernando (org.). Origens e evolução das ideias da física. Salvador: EDUFBA, p.330, 2002.

RUTHERFORD, E. “**The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of Atom**”. Philosophical Magazine [6]. Vol. 21, p.669-688, 1911.

## DO MACROCOSMO AO MICROCOSMO: A FORMAÇÃO DO MODELO NÚCLEO-PLANETÁRIO DE NAGAOKA

Enquanto países da Europa como a Inglaterra, apareciam como grandes potências mundiais na produção científica do século XIX, outras regiões do globo davam seus primeiros passos.

Na Ásia, por exemplo, o país que mais ganhava espaço era o Japão, que após várias décadas de isolamento cultural, mandava um grande número de estudantes para outros países com o objetivo de trazer novos conhecimentos e tecnologias.



Figura 1: Hantaro Nagaoka (1856 - 1950).

Fonte:

<<http://rikanet2.jst.go.jp/content/s/cp0270b/contents/10340.html>

>

Um dos cientistas que mais se destacou nessa

empreitada foi o físico Hantaro Nagaoka (1865 - 1950) (fig.1). Considerado um dos mais influentes cientistas japoneses do século XX, ele viajou por vários países do mundo participando de cursos e palestras (FIOLHAIS e RUIVO, 1996, p.2).

Numa de suas viagens participou de um congresso realizado em Paris, onde conheceu pesquisadores influentes de sua época e teve contato com os trabalhos mais recentes sobre os estudos da estrutura da matéria, que estavam gerando muitas discussões.

Nagaoka interessou-se pelo assunto e fez investigações sobre ele, através das faixas espectrais atômicas, que representam uma espécie de impressão digital para a identificação dos elementos químicos.

Após essas pesquisas, Nagaoka apresentou artigos em duas revistas importantes da época, Nature e Philosophical Magazine, descrevendo uma “**nova interpretação**” para a estrutura do átomo. O curioso é que esses artigos foram lançados em 1904, **mesmo ano que Thomson apresentou seu modelo.**

### 3.1. O MODELO SATURNIANO

Apostando numa configuração com características semelhantes ao sistema solar, Nagaoka descreveu o átomo da seguinte forma:

O sistema que vou discutir consiste num elevado número de partículas de massa igual, dispostos num círculo a intervalos angulares e regulares, repelindo-se com forças inversamente proporcionais ao quadrado das

distâncias; no centro do círculo coloca-se uma partícula de massa elevada, atraindo as outras de acordo com a mesma lei da força. Se as partículas orbitarem aproximadamente com a mesma velocidade em torno do centro de atração, o sistema permanecerá estável, em geral, se a força atrativa for suficientemente grande [...] (In Philosophical Magazine 7 (1904) 445, apud FIOLEAIS e RUIVO, 1996, p.4).

SÃO MUITAS INFORMAÇÕES! Mas se compreendermos as ideias principais já é o bastante. Vamos com calma, primeiro observando as características estruturais do modelo.

De acordo com as palavras de Nagaoka o átomo apresenta uma configuração muito diferente da que foi apresentada por Thomson. Em sua descrição, o átomo possuía uma espécie de massa central muito grande, atraindo pequenas partículas de mesmo tamanho.

Essas pequenas partículas existiriam aos montes orbitando uma “**massa central muito grande**” em espécies de anéis (fig.2), formando uma nuvem de pequenas esferas.

Segundo Nagaoka, estas esferas estariam carregadas negativamente enquanto a massa central possuiria sinal positivo (fig.3). Dessa maneira, as partículas negativas seriam atraídas pelo núcleo positivo. Mas **como essas partículas ficavam “presas” nesses anéis?**

Na concepção de Nagaoka as cargas negativas estariam se repelindo a todo instante, e ao mesmo tempo seriam atraídas pela carga central. Isso provocaria um movimento intenso dessas cargas sobre os anéis.



Figura 2: modelo de Nagaoka num selo comemorativo.

Fonte: <<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0270b/contents/10340.html>>

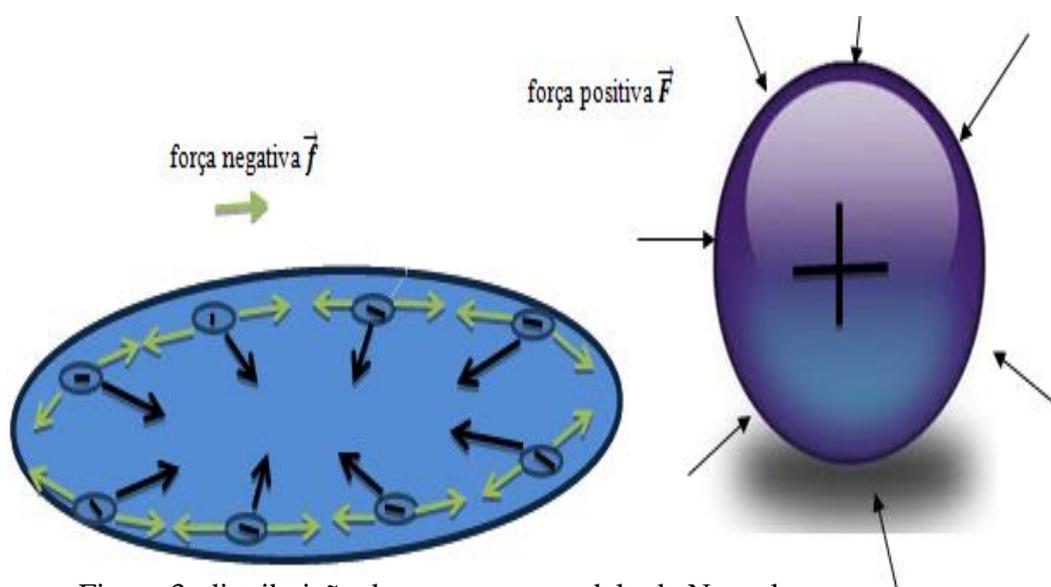


Figura 3: distribuição das cargas no modelo de Nagaoka

Com essa estrutura, que ficou conhecida como modelo saturniano, o cientista japonês acreditava que poderia explicar fenômenos ligados à espectroscopia e a radiação. No entanto, ele **se deparou com um grave problema, O COLAPSO DO ÁTOMO!** Algo que lhe rendeu severas críticas de outros cientistas, inclusive do próprio Thomson. Mas como isso poderia acontecer com a teoria de um cientista tão inteligente e dedicado? Vamos analisar

### 3.2. OS PROBLEMAS

Até certo ponto a interpretação de Nagaoka era satisfatória, entretanto, existia uma frágil estabilidade no movimento das partículas em torno do núcleo. Qualquer perturbação ocasionaria um verdadeiro desarranjo nas cargas, resultando na desestabilidade do átomo.

Mas não para por aí, à medida que os elétrons se movimentavam perderiam energia e começariam a aproximarem-se da massa central até colidirem com ela. Isso provocaria o chamado colapso atômico.

Nagaoka já sabia disso, mesmo assim apresentou seu modelo e mais tarde outros trabalhos para defendendo-o. Ele “acreditava que seu modelo seria uma boa maneira de investigar a estrutura da matéria e que poderia realmente representar a natureza” (FIOLHAIS e RUIVO, 1996, p.7).

Apesar de tudo, ele abandonou seu modelo, retornando aos estudos da espectroscopia e as relações com a estrutura da matéria. Não podemos fazer o mesmo em nossos estudos, e abandonar o modelo de Nagaoka, uma vez que sua importância para a interpretação das propriedades espectroscópicas dos elementos foi de grande ajuda para o desenvolvimento dos estudos posteriores sobre o átomo.

De fatos como esse, começamos a compreender que a ciência pode ser construída não só com os acertos, mas também através de erros, que são muito frequentes na ciência.

### 3.3. ATIVIDADES PROPOSTAS

#### Questões:

- 1) Como poderíamos caracterizar o modelo de Nagaoka?
- 2) Defenda o modelo de Nagaoka frente ao de Thomson.
- 3) Considerando os textos que você estudou e as discussões realizadas em sala, explique:
  - a) As consequências da estrutura do modelo de Nagaoka

### O Modelo núcleo-planetário de Nagaoka

b) o modelo de Nagaoka fazendo uma analogia com o planeta Saturno. Comente seus resultados.

c) os erros de Nagaoka foram um atraso para as investigações do átomo.

→ **MOMENTO DE REFLEXÃO:** oficina montando o quebra-cabeça.

### REFERÊNCIAS

FIOLHAS, M e RUIVO C. D. M. **O Modelo Atômico Saturniano de Nagaoka.**

Departamento de Física, Universidade de Coimbra, Gazeta da Física, V.19, p.7, 1996.

FREIRE JR., O. CARVALHO NETO, R.A. de. **O universo dos quanta: uma breve história da física moderna.** São Paulo: FTD, 1997.

LOPES, MACHADO C.V. **Modelos atômicos do início do século XX: da física clássica a introdução à teoria quântica.** Tese de doutorado, PUC-São Paulo, 2009.

PEDUZZI, LUIZ. O.Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo Grego ao átomo de Bohr.** Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Física. Florianópolis – SC, p. 178 – 210, 2008.

#### 4. BOMBARDEANDO O DESCONHECIDO: A VISÃO DE RUTHERFORD PARA O ÁTOMO NUCLEAR

Como vimos nos textos anteriores às pesquisas sobre o interior da matéria cresciam a cada ano e com elas às diferentes interpretações, os problemas teóricos, experimentais e os debates nos círculos científicos. Dessa forma, podemos imaginar que o assunto era propício a despertar o interesse de muitos pesquisadores que estavam ingressando na carreira científica.

Um deles foi o físico neozelandês, Ernest Rutherford (fig.1), considerado um dos pioneiros nos estudos da radiação e física nuclear do século XX. Sua história de vida é muito interessante, marcada pela dedicação a ciência, simplicidade e incentivo a educação.

Habilidoso com as atividades experimentais e com a matemática, Rutherford conseguiu atrair a atenção por onde realizava suas pesquisas.

Nas Universidades que trabalhou na Europa e no Canadá, conseguiu ajuda de vários cientistas, inclusive de jovens pesquisadores como Hans Geiger (1882-1945) e Ernest Marsden (1889-1970), obtendo resultados de grande importância para a física e química. Dentre eles a detecção do núcleo atômico.

Seu maior interesse, na primeira década do século XX, estava nos fenômenos envolvendo **as radiações  $\alpha$  e  $\beta$**  ao bombardearem diferentes tipos de materiais. Como resultado dessas pesquisas ele e seus assistentes publicaram vários artigos, tentando por algumas vezes encontrar **relação entre as previsões teóricas e os resultados dos experimentos**.

Nessa busca **Rutherford propôs outra visão para o átomo**, que gerou poucas discussões inicialmente, no entanto, **se adequou melhor do que o modelo de Thomson a alguns fenômenos ligados a radiação**. Apesar do resultado positivo, a visão de Rutherford foi deixada de lado por alguns anos, virando motivo de críticas e rejeição. Mas por que isso aconteceu? Quais os problemas com as ideias desse dedicado pesquisador? Vamos investigar.

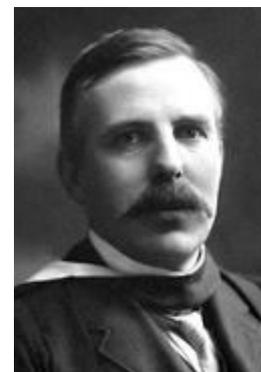


Figura 1: Ernest Rutherford (1871-1937)  
Fonte:

<[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ernest\\_Rutherford\\_cropped.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ernest_Rutherford_cropped.jpg)>

#### 4.1. “A BALA DESVIANDO NO PAPEL”: A “DESCOBERTA” DO NÚCLEO E A INTERPRETAÇÃO DE RUTHERFORD

Durante suas investigações, Rutherford dedicou uma atenção especial aos efeitos da radiação ao atingir diferentes tipos de materiais. Seus assistentes, Geiger e Marsden, realizaram vários experimentos com feixes de radiação atingindo pequenas laminas de materiais como o cobre, alumínio e o ouro.

Com este experimento, chamado dispersão radioativa fig.(2), eles detectaram um fenômeno surpreendente no ano de 1909. Comunicado imediatamente a Rutherford, que relatou sua reação do fenômeno da seguinte forma:

Eu me lembro [...] depois Geiger vindo até mim com grande excitação e dizendo: 'Temos sido capazes de obter algumas das partículas  $\alpha$  retornando para trás [...] 'Foi de longe o evento mais incrível que já aconteceu na minha vida. Era quase incrível como se você disparasse uma bala de 15 polegadas em um pedaço de papel de seda e ela voltasse e batesse em você” (RUTHERFORD, E. 1938, p. 38, apud Rutherford’s Nuclear World – A Story Commemorating the 100 th Anniversary of the Discovery of the Atomic Nucleus).

A surpresa de Rutherford, à primeira vista, pode parecer exagerada, mas para o fenômeno de dispersão que eles observaram não. Ao realizarem o experimento eles detectaram que os feixes de radiação, ao atingirem a lâmina de ouro, eram desviados por algum tipo de obstáculo em até 90°. Isso era surpreendente para a época, uma vez que não existiam relatos de algo parecido.

Como resultado dos experimentos Marsden e Geiger publicaram artigos com relatos detalhados do experimento e possíveis explicações, mas a origem dos desvios permanecia um mistério.

Empolgado com os resultados, Rutherford fez com seus assistentes os experimentos com as partículas  $\alpha$  e tentou reconciliar os resultados com diferentes modelos para o átomo, em especial o modelo de J.J Thomson. Entretanto, ele não obteve êxito e partiu para outra proposta.

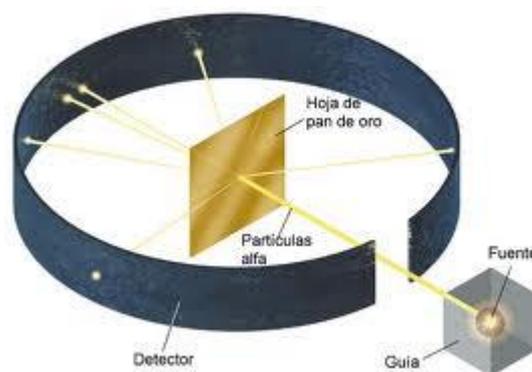


Figura 2: ilustração do experimento de espalhamento radioativo

## 4.2. A EXPLICAÇÃO DE RUTHERFORD

Na tentativa de explicar os fenômenos de espalhamento, Rutherford trabalhou em 1911, com a ideia de um átomo contendo uma “carga central” apresentando um trabalho na *Philosophical Magazine*, onde ele fala sobre os desvios observados, afirmando que só seriam possíveis devido a uma grande concentração de massa no interior do átomo.

Em suas investigações, Rutherford identificou problemas na análise do espalhamento, se fosse tomado como referência o modelo de J.J Thomson, e passou a considerar a ideia de uma carga central.

[...] Ao comparar a teoria descrita no presente documento com os resultados experimentais, foi possível supor que o átomo consiste de uma carga central... e de que as deflexões das partículas são principalmente devido à sua passagem através do forte campo central [...] (RUTHERFORD, E, *Philosophical Magazine*, 1911, p.686).

Com essa interpretação, Rutherford apresentou um novo modelo atômico e conseguiu explicar os desvios das partículas  $\alpha$ . Em sua descrição, o átomo possuiria **um centro de massa muito pequeno, que poderia estar carregada positiva ou negativamente, com cargas elétricas menores ainda girando em órbitas crescentes em torno dela** fig. (3).

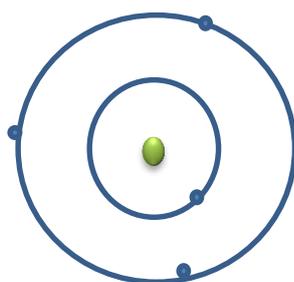


Figura 3: ilustração do modelo de Rutherford

Para ilustrar essas características, ele fez uma analogia com o movimento de um cometa em órbita ao redor do Sol, além da comparação com os anéis de elétrons do modelo de Nagaoka.

Na visão de Rutherford, a carga central exerceria uma força atrativa semelhante a do Sol sobre um cometa, com cargas elétricas minúsculas descrevendo órbitas crescentes e circulares.

**Bombardeando o desconhecido: A visão de Rutherford para o átomo nuclear**

**Como forma de justificar essa estrutura, Rutherford se baseou nos desvios das partículas radioativas, ou seja, das partículas  $\alpha$** , que só poderiam ocorrer se existisse no interior do átomo uma carga elétrica muito pequena quando comparada com as dimensões totais do átomo.

Na explicação do fenômeno de espalhamento, o modelo se saiu bem, até melhor que o de Thomson e Nagaoka. Mas, **como nada na ciência nada é perfeito, a interpretação de Rutherford também apresentou falhas**. A mais grave já havia ocorrido em outro modelo e causado sua rejeição. Você se lembra?

Para o caso do modelo de Rutherford a configuração nuclear era considerada uma faca de dois gumes, pois como sabemos, existia uma instabilidade com esse tipo de estrutura, que poderia causar o “colapso do átomo”.

Segundo Lopes (2009), isso fez com que o modelo atômico de Rutherford não gerasse muitas discussões, especialmente se levarmos em conta que ele não dava ênfase aos elétrons, que eram considerados foco das investigações sobre a estrutura do átomo na época.

A interpretação de Rutherford só entrou em cena realmente dois anos depois com alterações radicais que chamaram a atenção da comunidade científica, e que mais tarde ajudariam no desenvolvimento de uma nova teoria para a física, como veremos na próxima aula.

### 4.3. ATIVIDADE PROPOSTA

**Baseando-se em nossas discussões até agora, vamos tentar resolver as seguintes questões:**

1. Para você o que levou Rutherford a propor outro modelo para o átomo?
2. De acordo com o que analisamos até agora e com as discussões feitas em sala, explique:
  - (a) Rutherford desenvolveu seu modelo apenas com a repetição de vários experimentos e com a ajuda secundária de alguns assistentes.
  - (b) Rutherford estava completamente equivocado com seu modelo.
  - (c) O interior da matéria possui um tipo de comportamento que pode ser entendido de maneira diferente por diversos cientistas.
- (2) Qual das interpretações vistas até agora tem os argumentos mais fortes para se sustentar? Explique.

**Bombardeando o desconhecido: A visão de Rutherford para o átomo nuclear**

**REFERÊNCIAS**

FREIRE JR., O. CARVALHO NETO, R.A. de. **O universo dos quanta: uma breve história da física moderna**. São Paulo: FTD, 1997.

HELIBRON, J.L. **Rutherford- Bohr atom**. American Journal of Physics., 1981, p.1-19.

LOPES, MACHADO C.V. **Modelos atômicos do início do século XX: da física clássica a introdução à teoria quântica**. Tese de doutorado, PUC-São Paulo, 2009.

RUTHERFORD, E. “**The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of Atom**”. Philosophical Magazine [6]. Vol. 21, p.669-688, 1911.

PEDUZZI, LUIZ. O.Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo Grego ao átomo de Bohr**. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Física. Florianópolis – SC, p. 178 – 210, 2008.

## SE “ARRISCANDO” EM TERRITÓRIO DESCONHECIDO: BOHR E O ÁTOMO QUANTIZADO

Em nossa viagem pela história dos modelos atômicos até agora, exploramos diferentes explicações do “mundo do muito pequeno”. No entanto, essas visões tinham algo em comum, a Teoria Clássica, que servia como base para a explicação de todos os modelos atômicos.

Contudo, à medida que novos fenômenos eram detectados, acumulavam-se dúvidas e essa teoria não conseguia resolvê-las. Nesse período, década de 1910, novas ideias relacionadas à energia emitida por corpos aquecidos, desenvolvidas pelo físico alemão Max Planck (1858 – 1947), ganhavam espaço cada vez mais e sugeriam mudanças na física, que poderiam refletir nos estudos do interior da matéria.

Em meio a esses acontecimentos o recém-doutor em física, Niels Henrik David Bohr (fig.1), iniciava as bases de uma investigação que introduziria “novas ideias” para explicar o átomo.

Bohr era um jovem pesquisador Dinamarquês, que desde cedo foi incentivado aos estudos, demonstrando interesse principalmente na física.

No ano que defendeu sua tese de Doutorado (1911), viajou para a Inglaterra com o intuito de trabalhar no renomado laboratório de Cavendish, sob a orientação de J.J Thomson. No entanto, a relação entre os dois não durou muito (ABDALLA, 2005, p. 32).

Mesmo assim Bohr continuou suas pesquisas no Laboratório Cavendish, tendo a oportunidade de conhecer Rutherford, com quem manteve uma amizade que durou por toda a vida dos dois.

Durante sua estadia nesse laboratório, Bohr teve a oportunidade de conhecer melhor o modelo de Rutherford e ampliar suas pesquisas relacionadas à perda de energia das partículas. Com esses estudos ele desenvolveu as bases para a construção de trabalhos sobre a estrutura da matéria, apresentados na Philosophical Magazine em 1913.

Essas publicações repercutiram bastante e mudaram ideias acerca das características do átomo, abrindo as portas para uma nova teoria atômica, que foi considerada arriscada por muitos contemporâneos de Bohr, e que para variar, gerou críticas e intensos debates entre cientistas da época, muitos deles bastante conhecidos. Mas, o que tinha de tão especial na interpretação de



Figura 1: Niels Henrik David Bohr (1885 – 1962).

Fonte:

<[http://en.wikipedia.org/wiki/Niels\\_Bohr](http://en.wikipedia.org/wiki/Niels_Bohr)>

Bohr? Será que ela conseguiu resolver os problemas que os outros modelos não tiveram sucesso? Vamos descobrir.

### 5.1. TRILHANDO NOVOS CAMINHOS “SOBRE A CONSTITUIÇÃO DE ÁTOMOS E MOLÉCULAS”

Após alguns meses de pesquisas no laboratório de Cavendish, Bohr aprofundou seus conhecimentos sobre a absorção de raios  $\alpha$  que lhe renderam três publicações, todas no ano de 1913. Esses trabalhos fizeram parte de uma trilogia “Sobre a constituição de átomos e moléculas” (LOPES, 2009, p.124).

Em cada um deles, Bohr **mostrou a influência que sofrera ao longo de suas investigações**. Inicialmente fazendo referência aos modelos de Thomson e Rutherford como possíveis formas de explicar os resultados das experiências com os raios  $\alpha$ . Sua Preocupação maior estava na incoerência entre esses modelos e os resultados experimentais.

Na tentativa de resolver essa problemática, ele adotou o modelo de Rutherford, com o objetivo de explicar os desvios detectados no movimento das partículas  $\alpha$ , mesmo sabendo do colapso proveniente da instabilidade deste modelo.

Com o tempo **Bohr se tornou um defensor do modelo de Rutherford** e tentava aperfeiçoá-lo, mesmo sabendo da excelente estabilidade e coerência da interpretação de Thomson, quando comparada com os valores obtidos experimentalmente. Vejamos a comparação que ele faz entre esses modelos.

[...] a principal diferença entre os modelos atômicos propostos por Thomson e Rutherford consiste na circunstância de que as forças que atuam sobre os elétrons no modelo de Thomson permitem certas configurações e movimentos dos elétrons para os quais o sistema está em equilíbrio estável; todavia, para o segundo modelo não existem aparentemente tais configurações (BOHR, Philosophical Magazine, 1913, p.2).

Como podemos observar **ele sabia das vantagens do modelo de Thompson, mesmo assim defendia o modelo de Rutherford**. Mas por qual motivo?

Segundo o próprio Bohr, existia no modelo de Rutherford algo muito importante, **o núcleo, que continha a sede essencial da massa do átomo**, fato que, como vimos anteriormente, já havia sido observado pelo próprio Rutherford e seus assistentes e que era inexistente no modelo de Thomson. **Porém, ainda existia o problema da instabilidade que era uma verdadeira pedra no sapato da interpretação de Rutherford**.

Tentando superar esse problema, Bohr assumiu que uma nova interpretação deveria ser desenvolvida e o caminho estaria na forma com que o átomo de Rutherford absorvia ou emitia energia, que deveria ocorrer de forma descontínua, conforme a teoria da radiação de Planck (Bohr, 1922, p.15).

Considerando essa teoria, Bohr analisou o átomo como possuindo estados estáveis de energia ou “estados estacionários”, que podem ser imaginados como sendo regiões onde cada elétron teria uma quantidade de energia característica (fig.2). Isso possibilitaria a estabilidade física do átomo, pois não haveria perda de energia.

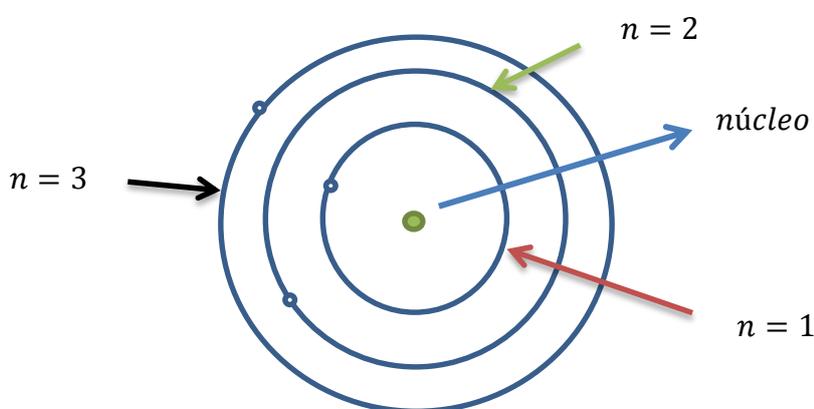


Figura 2: órbitas caracterizando diferentes níveis de energia

Na concepção de Bohr, o átomo só perderia essa estabilidade se o sistema (elétrons e núcleo) sofresse algum tipo de interação, por exemplo, um processo em que os elétrons sejam forçados, por algum tipo de perturbação energética, a saírem de sua órbita de origem. Fora isso o átomo descrito por Bohr deveria permanecer estável.

## 5.2. AS CONSIDERAÇÕES FUNDAMENTAIS DO “PROGRAMA”: UM NOVO OLHAR PARA A MATÉRIA

Com o intuito de sustentar suas ideias, Bohr apresentou as considerações essenciais de sua teoria sobre o átomo, caracterizadas por meio de cinco postulados<sup>1</sup> que dizem o seguinte:

- (1) *Que a energia não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado “estacionário” para outro diferente;*

<sup>1</sup> Princípio ou fato indemonstrável, cuja admissão é necessária para estabelecer uma teoria ou demonstração, ou seja, é algo que se assume como verdade, mas que não pode ser provado.

- (2) *Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando estas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários;*
- (3) *Que é homogênea a radiação emitida durante a transição de um estado estacionário para outro, e que a relação entre a frequência  $\nu$  e a quantidade total de energia emitida é dada por  $E = h\nu$ , sendo  $h$  a constante de Planck;*
- (4) *Que os diferentes estados estacionários de um sistema simples constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$  a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron. Admitindo que a órbita do elétron é circular, essa hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$ ;*
- (5) *Que o estado “permanente” de um sistema atômico – isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima – é determinado pela condição de ser igual a  $h/2\pi$  o momento angular de cada elétron em torno do centro da sua órbita (BOHR, 1913, pp. 874-875, apud. LOPES, 2009, p.138).*

Sustentado nesses postulados, Bohr assumiu que **o átomo possuía características que poderiam contrariar a respeitada e consolidada teoria clássica**. O segundo postulado é um exemplo disso, onde Bohr afirma que a transição entre os estados estacionários não poderia ser explicada por essa teoria.

No terceiro postulado, ele afirma que **existiria uma energia definida associada com cada órbita estacionária**, e que só seria liberada ou absorvida pelo átomo quando o elétron fizesse a transição de uma órbita para outra. Essa energia obedeceria a seguinte relação:

$$h\nu = E_i - E_f$$

Com a apresentação dessas características **Bohr se arriscou**, pois existia uma mistura entre questões ligadas à quantização, consideradas inconsistentes, e a mecânica clássica. No entanto, **suas ideias vingaram e aos poucos foram evoluindo**. Tanto, que ele obteve resultados positivos quando explicou as combinações do átomo de Hidrogênio em moléculas com dois átomos, as séries espectrais calculadas por Johann Balmer (1825 – 1898) e na explicação das propriedades químicas dos elementos (HELIBRON, 1981, p.14).

Mas como sabemos, nem tudo são flores, ou seja, **nenhuma teoria está imune a falhas**, com a de Bohr não foi diferente. No momento tentava-se aplicar sua teoria para átomos com mais de um elétron, por exemplo, o átomo de Hélio, não se obtinha êxito. Mas não para por aí. Outro problema aparecia quando se tentava explicar as transições entre os níveis de energia.

Nesse momento percebia-se que existia uma incoerência entre a emissão de energia e o momento angular do elétron.

Esses problemas geraram muitas discussões entre físicos e químicos da época, ocasionando a publicação de vários artigos, em diferentes partes da Europa – Inglaterra, Alemanha, Holanda e Itália – com opiniões contra e a favor das hipóteses de Bohr, além das **fortes críticas** do influente J.J Thomson e de John William Nicholson (1881 – 1955), um renomado pesquisador da época, que pouco tempo antes de Bohr havia proposto outro modelo para o átomo (LOPES, 2009, p.146).

Nicholson, em especial, fez duras críticas ao trabalho de Bohr, muitas delas irônicas considerando-o inconsistente, incompleto, não fazia uso correto da mecânica de Newton e não poderia, de forma alguma, explicar a real estrutura da matéria. Todo esse alvoroço acontecia numa importante revista de divulgação científica a *Nature*.

Outros pesquisadores se envolviam na discussão, concordando com Nicholson ou defendendo Bohr, que só respondeu as críticas no ano de 1915, com a apresentação de alguns resultados experimentais sobre espectroscopia.

O mais interessante nisso tudo é que o desenvolvimento das hipóteses de Bohr ocorreu, principalmente por causa dos trabalhos do próprio Nicholson sobre os átomos das estrelas e seus espectros (LOPES, 2009, 153).

Contudo, o trabalho de Bohr influenciou bastante no desenvolvimento das teorias atômicas, colaborando para a introdução de conceitos novos, que foram aperfeiçoados por vários outros cientistas, levando a ampliação e consolidação de um novo ramo da física, a teoria quântica.

### 5.3. ATIVIDADES PROPOSTAS

**Agora vamos refletir um pouco sobre nossas investigações e tentar resolver algumas questões.**

- 1) Para você qual a maior diferença entre o modelo de Bohr e as outras interpretações apresentadas até agora? Comente sobre ela.
- 2) Explique as seguintes afirmações:
  - (a) Bohr não contribuiu para o desenvolvimento dos estudos do átomo. Ele apenas complementou o modelo de Rutherford.
  - (b) Bohr se deixou levar por seu interesse no modelo de Rutherford. Por isso, não teve êxito com suas ideias.

- (c) As leis da física foram contrariadas com as ideias de Bohr.
- (d) Podemos dizer que os postulados de Bohr foram bem sucedidos.
- (3) Como poderíamos caracterizar o modelo de Bohr comparando-o com o de Rutherford? E com o de Thomson?

**OFICINA SUGERIDA: Montagem do Portifólio.**

**REFERÊNCIAS**

ABDALLA, M. C. S. Niels Bohr. **Scientific American Gênios da Ciência, Ed. Especial: Físicos Quânticos**, n.13, p.6-43, 2005.

BOHR, N. **The structure of the atom**. Nobel Lecture, p. 14-37, 1922.

BOHR, N. **On the Constitution of Atoms and Molecules**. Philosophical Magazine. Series 6, Vol. 26.p. 1-25, 1913.

FREIRE JR., O. CARVALHO NETO, R.A. de. **O universo dos quanta: uma breve história da física moderna**. São Paulo: FTD, 1997.

HELIBRON, J.L. **Rutherford- Bohr atom**. American Journal of Physics., 1981, p.1-19.

LOPES, MACHADO C.V. **Modelos atômicos do início do século XX: da física clássica a introdução à teoria quântica**. Tese de doutorado, PUC-São Paulo, 2009.

PEDUZZI, LUIZ. O.Q. **Evolução dos Conceitos da Física: Do átomo Grego ao átomo de Bohr**. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Física. Florianópolis – SC, p. 178 – 210, 2008.

## **APÊNDICE B – PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS INTERVENÇÕES DIDÁTICAS**

Na descrição que se segue, trazemos nossa proposta para as intervenções didáticas com os objetivos para cada aula, sugestões de experimentos e oficinas, orientações para a execução das atividades e por fim um cronograma para organização de cada momento das intervenções.

Salientamos que são apenas sugestões, ficando a critério do professor adequar as atividades de acordo com sua realidade, bem como dos momentos de cada intervenção e o tempo destinado para as atividades. Como forma de organizar essas informações construímos tabelas que podem ser observadas ao término de cada intervenção.

### **Primeira intervenção: Aula 1 e Aula 2**

#### **Aula1**

*Objetivo geral:*

Integrar os estudantes com período histórico de grandes mudanças sociais, políticas e científicas do final do século XIX e início do século XX, levando-os a refletirem sobre a influência desses aspectos no desenvolvimento científico da época, em especial na Física.

*Objetivos específicos*

- Discutir aspectos importantes que influenciam o desenvolvimento científico entre o final do século XIX e início do século XX;
- Situar historicamente os estudantes num período de grandes mudanças nas ciências;
- Identificar personagens e momentos históricos importantes para a ciência e para a sociedade do período em questão.

#### **Aula2**

*Objetivo geral:*

Proporcionar a discussão e reflexão sobre a estrutura da matéria de acordo com o ponto de vista do modelo proposto por Thomson.

*Objetivos específicos:*

Ao final da intervenção espera-se que os estudantes sejam capazes de compreenderem e refletirem sobre os seguintes aspectos acerca do modelo de Thomson:

- As características Físicas;
- A estrutura do modelo;
- Os fenômenos da natureza que podem causar ambiguidades na sua interpretação;

- O modelo de Thomson foi desenvolvido por meio de vários estudos teóricos e experimentais.

### **Orientações para o andamento primeira intervenção**

Inicia-se esta intervenção com uma dinâmica intitulada (o segredo da caixa preta), com o objetivo de abordar algumas características da investigação científica. Propõe-se que os estudantes sejam divididos em grupos e os mesmos deverão descobrir o que existe dentro da caixa que se encontra completamente lacrada, utilizando-se de diferentes estratégias. Durante essa investigação eles deverão ser levados à formulação de várias hipóteses, as quais serão justificadas durante a apresentação dos resultados.

Num segundo momento o professor discute sobre o contexto histórico da Europa, entre o final do século XIX e início do século XX. Com esse estudo pretende-se inserir os estudantes no contexto em que se desenvolveram as interpretações da estrutura da matéria. Propõe-se a montagem de painéis cronológicos por meio de recortes históricos de acontecimentos marcantes, na forma de imagens<sup>2</sup>, que devem ser entregues aos estudantes, solicitando-os que selecionem as imagens que estejam de acordo com o período histórico estudado.

Na segunda aula, discute-se o modelo atômico de Thomson, iniciando-se com a com o levantamento de questões problematizadoras que o professor poderá construir a partir do texto 1, a fim de explorar os conhecimentos dos estudantes acerca desse modelo, no que diz respeito à estrutura, conceitos físicos etc. Após está problematização inicial, distribui-se o Texto 1 com os estudantes.

Tendo o texto em mãos, o professor deverá trabalha-lo por meio de uma exposição dialogada trazendo informações e discussões dos pontos principais, dando espaço para que os estudantes participem e possam resolver as questões contidas no final do texto.

<i>Cronograma de atividades da primeira intervenção</i>			
<b>Aulas</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Momento</b>	<b>Tempo</b>
<b>1<sup>a</sup></b>	O segredo da caixa preta	Dinâmica para ilustrar alguns aspectos da investigação científica.	25min
	Contexto histórico	Integrar os estudantes com o período histórico entre o final do século XIX e início do século XX.	25min

<sup>2</sup>. As imagens utilizadas para a construção do painel podem ser encontradas no Apêndice G.

2 <sup>a</sup>	Estudos iniciais do modelo de Thomson	Investigação dos conhecimentos prévios	15 min
	A estrutura e características Físicas do modelo de Thomson	Leitura e discussão do texto1 Resolução de questões do texto 1	35min

## Segunda intervenção: Aula 3 e Aula 4

### Aula3

#### *Objetivo Geral:*

Proporcionar aos estudantes uma reflexão acerca das características do modelo de Thomson conforme o conhecimento desenvolvido a partir das aulas anteriores, por meio de uma oficina intitulada “o modelo ampliado”.

#### *Objetivos específicos:*

Com essa aula espera-se que os estudantes sejam capazes de:

- Representar o modelo de Thomson, destacando suas características Físicas;
- Diferenciar o comportamento e configuração das cargas elétricas;
- Identificar possíveis problemas atribuídos ao modelo de Thomson.

### Aula4

#### *Objetivo Geral:*

Auxiliar os estudantes a refletirem sobre as características do modelo de Thomson trabalhadas durante as aulas, confrontando-as com representações e informações apresentadas em diferentes livros e páginas da internet.

#### *Objetivos específicos:*

- Identificar possíveis equívocos sobre a interpretação do modelo de Thomson;
- Compreender possíveis problemas com as analogias para interpretar uma ideia na Física;
- Analisar diferentes representações acerca da interpretação de Thomson em livros, sites de divulgação etc.

## Orientações para o andamento da segunda intervenção

Inicia-se a aula com uma proposta de oficina intitulada “modelo ampliado”, na qual os estudantes ficaram a vontade para construir suas próprias representações para a interpretação de Thomson. Durante o processo o professor deve ficar atento para que todos os estudantes

participem e façam uso do que foi estudado ao longo das aulas anteriores. Para isso é fundamental que os estudantes sejam estimulados a produzirem algo que mais se aproxime do que eles entenderam, tanto em relação às características físicas como em termos de estrutura.

Uma estratégia que o professor pode utilizar é juntar os estudantes em equipes com média de quatro integrantes, e peça para que cada um deles façam anotações divididas em duas categorias, uma sobre as características físicas que possam ser feitas e outra sobre a estrutura, por exemplo, formato, cores, tamanhos das cargas etc.

Após a construção dos modelos, propõe-se que os estudantes apresentem suas produções e seja feita a análise de cada uma delas perante toda a turma. É aí que entra outro ponto muito importante da aula, o momento que os estudantes poderão compreender o quanto a imaginação desempenha um papel fundamental na construção de modelos na ciência e de como as críticas podem ser importantes.

Na quarta aula, recomenda-se a análise de algumas ilustrações que podem ser obtidas em livros didáticos e sites na internet<sup>3</sup> acerca do modelo estudado, com o intuito de que os estudantes façam comparações com as suas próprias representações, apresentadas na terceira aula. Posteriormente, aconselha-se que o professor trate dos problemas que podem surgir ao fazer analogias na ciência, tendo como base o modelo de Thomson.

<i>Cronograma de atividades da segunda intervenção</i>			
<b>Aulas</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Momento</b>	<b>Tempo</b>
<b>3<sup>a</sup></b>	<b>Modelo Ampliado</b>	Os estudantes tentarão representar o modelo de Thomson e suas características Físicas.	50 min
<b>4<sup>a</sup></b>	<b>Análise das representações</b>	Apresentação e discussão de várias representações e analogias que são atribuídas ao modelo de Thomson e divulgadas em livros, na internet.	50 min

### **Terceira intervenção: Aula 5 e Aula 6**

#### **Aula 5**

##### *Objetivo Geral*

<sup>3</sup> Os exemplos utilizados durante as intervenções podem ser encontradas no Apêndice E.

Fazer uma retomada de questões vistas na aula anterior, referentes ao modelo de Thomson e das características da construção do conhecimento científico apresentadas por Charbel (2006). Além da montagem do texto da aula seguinte, que será feita na forma de um quebra cabeças, juntamente com questões que serão lançadas à medida que os estudantes forem montando as partes do texto.

#### *Objetivos específicos*

- Retomar pontos importantes da aula anterior relacionando-os a interpretação de Nagaoka;
- Refletir sobre características da construção do conhecimento científico relacionando-as a interpretação de Nagaoka;
- Perceber e relacionar características dos modelos de Thomson e Nagaoka.

### **Aula6**

#### *Objetivo Geral*

Proporcionar aos estudantes uma discussão e reflexão sobre a interpretação de Hantaro Nagaoka para estrutura da matéria, enfatizando aspectos conceituais, estruturais e alguns fatores históricos.

#### *Objetivos específicos:*

Ao final das intervenções espera-se que os estudantes sejam capazes de compreenderem e refletirem sobre os seguintes aspectos do modelo de Nagaoka:

- Relações entre os conceitos físicos;
- Características estruturais;
- Identificarem possíveis problemas ou críticas referentes ao modelo;
- Compará-lo com outros modelos;
- Compreender que seu desenvolvimento foi fruto de várias hipóteses e sofreu influências de diferentes fatores.

### Orientações para o andamento da terceira intervenção

Para iniciar a intervenção sugere-se ao professor que realize uma atividade chamada “Quebra-cabeças”. Através dela o professor poderá fazer uma espécie de revisão da aula anterior e discutir sobre novas características ligadas ao modelo de Nagaoka.

Para realizar a atividade a turma deverá ser dividida em equipes e o professor distribuirá a estas uma caixa contendo recortes do texto 1, referentes as características do modelo de Thomson, e recortes de um texto 2, relacionado ao modelo de Nagaoka. Propõe-se que os estudantes identifiquem nas caixas, recortes que façam referência ao que eles conhecem e tentem montar um texto com os demais recortes que restarem. Feito isso, os estudantes poderão ter contato com novas ideias contidas no texto 2 e relaciona-las com o que foi investigado no texto 1.

Na sexta aula, com o texto 2 em mãos, propõe-se uma discussão por meio de questionamentos que os estudantes devem elaborar acerca do modelo de Nagaoka. Para isso, o professor deverá dar um tempo de 15 minutos para uma leitura inicial, onde os estudantes deverão fazer anotações sobre o texto, se tem alguma dúvida ou achou algo interessante e queira ir mais a fundo.

Passado o momento de leitura, o professor deverá iniciar as discussões sobre o texto e tentar acolher as anotações feitas. É crucial que os estudantes participem da discussão e tenham o máximo possível de questões acolhidas durante os diálogos. Como o tempo é curto, aconselha-se que o professor especifique um número de questões e junte as equipes na aula anterior, com o intuito de que os estudantes possam selecionar o que acreditem ser mais importante.

<i>Cronograma de atividades da terceira intervenção</i>			
<b>Aulas</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Momento</b>	<b>Tempo</b>
<b>5<sup>a</sup></b>	Quebra-cabeças	Atividade para retomada de questões vistas na aula anterior sobre o modelo de Thomson e montagem do texto2 que servirá de base para a aula.	50 min
<b>6<sup>a</sup></b>	Contexto histórico e estudo do modelo de Nagaoka.	Integrar os estudantes sobre alguns aspectos históricos do desenvolvimento do modelo de Nagaoka, destacando os aspectos conceituais e estruturais.	50 min

## **Quarta intervenção: Aula 7 e Aula 8**

### **Aula7**

#### *Objetivo Geral*

Promover uma discussão acerca de características da investigação científica envolvendo a atividade de experimentação realizada por Rutherford, bem como de aspectos conceituais, estruturais e históricos de sua interpretação para o átomo.

#### *Objetivos específicos*

- Compreender aspectos importantes sobre a detecção do núcleo atômico feita por Rutherford e seus assistentes;
- Compreender o papel da experimentação na investigação científica sem o detrimento dos conhecimentos teóricos.

### **Aula8**

#### *Objetivo Geral*

Compreender e analisar características do modelo de Rutherford por meio da discussão de um texto contendo aspectos conceituais e históricos.

#### *Objetivos específicos*

- Analisar aspectos históricos sobre o desenvolvimento da interpretação de Rutherford para o átomo;
- Discutir características Físicas da estrutura do modelo de Rutherford;
- Analisar possíveis problemas da interpretação de Rutherford.

### **Orientações para o andamento da quarta intervenção**

Inicia-se a intervenção com um experimento denominado “o segredo do invisível”, com o objetivo de ilustrar características da atividade experimental realizada por Rutherford e seus assistentes. Nessa atividade os estudantes serão desafiados a explicar a mudança de movimento de pequenas esferas (rolimãs) ao atingirem obstáculos desconhecidos, que se encontravam abaixo de uma placa de madeira. O aparato experimental para esta atividade foi baseada numa proposta desenvolvida por Pietrocola e Gurgel (2011), tendo como foco o estímulo da imaginação.

Para a execução da atividade o professor deve montar equipes de no máximo 5 estudantes, destinando funções para todos eles: um estudante para fazer anotações sobre as hipóteses levantadas, um estudante para fiscalizar, juntamente com o professor, as demais equipes, para que não levantem as bases de madeira e observem os obstáculos, e três estudantes

para lançarem as esferas nos obstáculos e traçarem os pontos. Encerrando a atividade eles devem apresentar os resultados para o restante da turma e discutirem as hipóteses que foram levantadas.

Partindo para a oitava aula, recomenda-se que o professor aborde o texto 3, que trata da interpretação de Rutherford para a estrutura do átomo, além de informações históricas importantes, que podem auxiliar os estudantes na compreensão de características importantes das investigações científicas.

Para trabalhar tal texto aconselhamos que o professor faça uma breve retomada do experimento da aula anterior e a partir daí faça ligação com o famoso experimento de Rutherford. Feito isso, deve ser realizada uma leitura em conjunto com os estudantes e por meio dela, uma discussão dos pontos principais do texto.

É fundamental que a partir da leitura sejam levantadas questões sobre o experimento de Rutherford e das hipóteses que ele apresentou para explicá-lo, dessa maneira será mais fácil relacionar o experimento da aula anterior com as características da investigação científica. Aconselhamos que o professor elabore questões sobre o experimento de Rutherford, principalmente relacionadas às dificuldades para a detecção do núcleo atômico e do papel da criatividade no processo.

<i>Cronograma de atividades da quarta intervenção</i>			
<b>Aulas</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Momento</b>	<b>Tempo</b>
<b>7<sup>a</sup></b>	“O segredo do invisível”	Atividade experimental com o intuito de integrar os estudantes com alguns aspectos da investigação realizada no experimento de Rutherford.	50min
<b>8<sup>a</sup></b>	Abordagem do texto 3	Discussão das características conceituais, estruturais e históricas envolvendo o modelo atômico de Rutherford.	50min

## **Quinta intervenção: Aula 9 e Aula 10**

### **Aula 9**

#### *Objetivo Geral*

Compreender as dificuldades do modelo de Rutherford, apresentando os problemas conceituais que levaram as críticas do mesmo.

#### *Objetivos específicos*

- Identificar as incoerências entre o modelo de Rutherford e os conceitos físicos da eletrodinâmica clássica;
- Compreender o quanto o conhecimento científico está sujeito a falhas;
- Discutir aspectos históricos importantes que influenciam no desenvolvimento científico.

### **Aula 10**

#### *Objetivo Geral*

Compreender a estrutura da matéria de acordo com a interpretação do físico Niels Bohr, destacando os aspectos conceituais, bem como dos diferentes fatores científico e extra científicos que influenciaram a apresentação de seu modelo.

#### *Objetivos específicos*

- Compreender as mudanças provocadas pela interpretação de Niels Bohr na compreensão do átomo;
- Identificar aspectos importantes da construção do conhecimento científico;
- Compreender os novos conceitos introduzidos por Bohr;

### **Orientações para o andamento da quinta intervenção**

Inicia-se a intervenção com um momento de problematização acerca do colapso do átomo. Para isso propõe-se que o professor elabore questões baseadas no texto 3 e lance-as aos estudantes. É importante que o professor enfatize a problemática do colapso do átomo e ofereça a oportunidade aos estudantes de apresentarem possíveis explicações para o fenômeno. Para melhorar a discussão é interessante que a turma seja dividida em equipes e que os estudantes discutam as questões entre si, apresentem suas respostas e por fim o professor as discuta com o restante da turma.

Após as explicações dos estudantes, seguimos para a décima aula, onde o professor deve fazer uso do texto 4, apresentando as informações sobre a aceitação e as possíveis críticas

sofridas pelo modelo de Rutherford. O próximo passo deve ser o estudo das investigações de Niels Bohr, tendo como foco os diferentes fatores que o influenciaram na apresentação de outro modelo para a estrutura do átomo.

Durante essa discussão deve-se expor aos estudantes parte do contexto histórico no qual Bohr estava inserido e das influências que ele pode ter sofrido em suas investigações, que conseqüentemente podem ter desempenhado um papel importante na apresentação de seu modelo. Essa discussão pode ser feita de forma semelhante aos debates das aulas anteriores, dividindo a turma em equipes e lançando as questões para que os estudantes discutam entre si e apresentem seus pontos de vista. No final do texto estão algumas questões que podem servir como exemplo para elaboração das que serão discutidas durante a aula.

<i>Cronograma de atividades da quinta intervenção</i>			
<b>Aulas</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Momento</b>	<b>Tempo</b>
<b>9<sup>a</sup></b>	“O colapso do átomo”	Problematização inicial relacionada às dificuldades conceituais do modelo de Rutherford.	20 min
	Entendendo o “colapso”	Investigação de possíveis explicações para a problemática do modelo de Rutherford.	25min
<b>10<sup>a</sup></b>	Debate sobre aspectos históricos e teóricos envolvendo o trabalho de Bohr (texto 4).	Realização de uma discussão das influências teóricas e do contexto no qual Bohr estava inserido quando desenvolveu seu modelo.	50min

### **Sexta intervenção: Aula 11**

#### **Aula 11**

##### *Objetivo Geral*

Comparar e discutir as interpretações estudadas ao longo das aulas anteriores, refletindo acerca de aspectos conceituais e históricos.

##### *Objetivos específicos*

- Comparar características importantes acerca das interpretações estudadas;
- Discutir aspectos da construção do conhecimento científico;
- Diferenciar aspectos específicos de cada um dos modelos atômicos;

### Orientações para o andamento da quinta intervenção

Nesta última aula retomam-se as principais características conceituais e históricas estudadas ao longo das aulas anteriores. Recomendamos que os estudantes confeccionem um portfólio contendo ilustrações e frases relacionadas a cada interpretação estudada. Para esta atividade o professor necessitará de imagens dos pesquisadores que fizeram parte do estudo, e de um portfólio que pode ser confeccionado com blocos de isopor e EVA.

Antes de iniciar a atividade, o professor deverá colocar questões e afirmações sobre cada uma das interpretações estudadas em pedaços de papel e em seguida coloca-las dentro de uma caixa. Já durante a aula, a turma deve ser dividida em equipes e um membro de cada deverá sortear uma questão por vez.

Após o sorteio as equipes ficarão incumbidas de responderem a questão ou discutirem a afirmação que sortearam. Feito isso, propõe-se que os estudantes dirijam-se ao portfólio e fixem o papel que sortearam próximo a imagem do respectivo pesquisador que acreditam estar ligado a ela. Recomendamos que o professor faça um total de quatro rodadas, passando a caixa uma vez por cada equipe.

Montado o portfólio, sugere-se que seja feita a avaliação do que foi montado. Para isso, o professor deverá passar pela imagem de cada pesquisador e julgar as questões fixadas próximas a ela como verdadeira ou falsa. Isso deverá ser feito de modo que toda a turma participe.

<i>Cronograma de atividades da sexta intervenção</i>			
<b>Aula</b>	<b>Atividade desenvolvida</b>	<b>Momento</b>	<b>Tempo</b>
11 <sup>a</sup>	Debate em equipes acerca de questões estudadas ao longo das intervenções e construção de painéis alusivos para comparar e discutir características dos modelos atômicos.	Discussão das principais características históricas e conceituais acerca das interpretações estudadas ao longo das aulas.	50 min

Para tornar mais dinâmica a atividade, aconselhamos que seja feita uma contagem no número de acertos. A equipe que mais pontuar será a vencedora da disputa e receberá uma premiação que ficará a critério do professor.

### **APÊNDICE C – ORIENTAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE “O SEGREDO DA CAIXA PRETA” E “SITUANDO-SE NO CONTEXTO HISTÓRICO”**

#### **DINÂMICA DA CAIXA PRETA**

**Participantes:** grupos com até 5 estudantes

**Objetivo:** Empregar o procedimento investigativo da ciência para que os estudantes formulem modelos e possam discutir acerca de características do conhecimento científico.

#### **Material**

- 6 caixas de madeira de MDF de 15 cm<sup>2</sup> cada ou de 15 cm x 10 cm (as caixas podem ser adquiridas com facilidade em lojas de artesanato ou marcenarias);



- Diversos objetos pequenos que possam ser colocados dentro das caixas, de preferência que façam barulhos diferentes ao se chocarem com a caixa;
- Cartolina guache preta;
- Lápis;
- Tesoura;
- Cola para madeira;
- EVA verde;
- Cola branca;
- Caderno para anotações.

**Procedimentos:****1. Para a construção das caixas**

- 1.1. Molde letras ou números com o EVA de maneira que possam ser coladas em frente a caixa.
- 1.2. Coloque os objetos dentro das caixas (não esqueça de anotar os objetos contidos em cada uma das caixas).
- 1.3. Cubra as caixas com a cartolina guache preta, utilizando a cola de madeira.
- 1.4. Em seguida, cole as letras ou números moldados com o EVA em cada uma das caixas com a cola de isopor.
- 1.5. Anote os objetos contidos nas caixas identificando-as com as letras ou números moldados anteriormente.
- 1.6. Fixe as tampas das caixas com a cola de madeira.

As caixas que confeccionamos ficaram da seguinte forma.

**2. Para desenvolvimento da atividade**

- 2.1. Reunir a turma em equipes de no máximo 5 estudantes.
- 2.2. Em seguida, as caixas devem ser entregues a cada equipe. Aconselhamos que seja construído um número de caixas de tal forma que cada equipe fique com no máximo duas, pois quanto mais caixas, mais tempo deve ser destinado a atividade.
- 2.3. Em seguida, o professor deverá explicar a atividade informando que as equipes terão de descobrir o conteúdo das caixas, mas sem abri-las.
- 2.4. Deve ser estipulado um tempo máximo que cada equipe terá para tentar descobrir o que há dentro das caixas. A sugestão é de 10 minutos.
- 2.5. Em seguida, cada equipe deverá anotar no caderno os possíveis objetos contidos nas caixas.

2.6. Cada equipe deverá elaborar hipóteses, assim como o que levou a elaboração de cada uma delas.

2.7. Em seguida, as equipes deverão trocar as caixas entre si e realizarem os procedimentos novamente até que todas as caixas sejam reversadas.

2.8. Após todas as caixas terem passado pelas equipes, um membro de cada uma delas deverá apresentar as hipóteses as quais sua equipe desenvolveu.

2.9. Os resultados das equipes devem ser discutidos pelo professor e pelos estudantes. Nesse momento o professor deverá fazer uma analogia entre a atividade realizada e o trabalho dos cientistas, identificando:

- O que seriam os objetos das caixas;
- As respostas dadas pelas equipes para os objetos;
- As discordâncias entre as equipes;
- O que representaria no mundo da ciência cada personagem da equipe;
- Embora a natureza apresente as mesmas características sobre diferentes olhares, as interpretações podem ser totalmente diferentes;
- Embora um modelo científico não explique totalmente uma realidade, ele pode ser utilizado para descrevê-la de maneira aproximada. Os modelos construídos pelas equipes apresentaram essa característica?
- Quais dificuldades impediram as equipes construírem um modelo bem sucedido?
- Os cientistas podem cometer falhas;

## **SITUANDO-SE NO CONTEXTO HISTÓRICO**

**Participantes:** equipes com no máximo 5 estudantes.

**Objetivo:** Compreender o contexto histórico entre o final do século XIX e início do século XX, tanto no que diz respeito aos conflitos políticos, a economia, sociedade e ciência.

**Material:**

- 1,20 m x 1,0 m de TNT;
- Bloco de isopor de 1,20 m x 1,0m;
- EVA;
- Imagens de acontecimentos marcantes do período estudado;
- Imagens de pesquisadores da época;
- Cola para isopor.

### **1. Procedimentos: construção do painel**

- 1.1. Cole o TNT sobre o isopor com a cola. Deixe secando por 5 minutos.
- 1.2. Em seguida, construa a frase “situando-se no contexto histórico” utilizando o EVA e tesoura. Aconselhamos que sejam construídas as letras no Word e posteriormente sejam recortadas com a tesoura.
- 1.3. Cole as letras na parte superior do painel, utilizando à cola para isopor.

## **2. Procedimentos durante a atividade**

- 2.1. Entregam-se as imagens para os estudantes.
- 2.2. Em seguida, os estudantes deverão identificar as imagens por meio de legendas, que deverão ser produzidas por eles, afim de identificar os acontecimentos ou personagens históricos.
- 2.3. Os estudantes deverão colocar em ordem cronológica cada uma das imagens e justificar a resposta para todo o restante das equipes e discutirem os motivos que os levaram a chegar a tais conclusões.

## **APÊNDICE D – DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE “O MODELO AMPLIADO”**

**Participantes: Equipes com até 5 participantes**

### **Materiais:**

- Bloco de madeira com 30 cm de comprimento por 20 cm de largura;
- Massa de modelagem;
- Lápis e borracha;
- Caderno para anotações.

### **1. Procedimentos: durante a atividade**

- 1.1. Formar equipes com no máximo 5 participantes.
- 1.2. O professor deverá apresentar a atividade, na qual os estudantes deveram tentar representar características do modelo de Thomson utilizando o pequeno bloco de madeira, que servirá de moldura, para a construção.
- 1.3. Em seguida, os estudantes deverão tentar anotar ou desenhar no caderno as características que o modelo apresenta para serem modelados na base de madeira.
- 1.4. Deve ser estipulado um tempo máximo que cada equipe terá para tentar colocar o máximo de informações possíveis no papel. A sugestão é de 10 minutos.
- 1.5. Passado o tempo estipulado pelo professor, cada equipe deverá tentar representar na moldura as informações que colocaram no papel. Com isso se busca uma construção de modelos

dos próprios estudantes, utilizando do conhecimento das principais características da interpretação de Thomson. A sugestão é de 30 minutos.

1.6. Cada equipe deverá apresentar seu modelo, explicando as características físicas e estruturais.

## **2. Procedimentos: após a atividade**

2.1. O professor deverá discutir cada um dos modelos elaborados, juntamente com o restante da turma destacando os seguintes pontos:

- Estrutura do modelo;
- Características físicas;
- Critérios utilizados para a construção do modelo.

2.2. Em seguida, deverá ser feita uma comparação entre os modelos produzidos e as representações atribuídas ao modelo de Thomson.

2.3. O professor deverá elucidar as principais dificuldades na representação de um modelo atômico, tais como:

- Posição de cargas;
- Força elétrica envolvida com as cargas;
- Energia.

2.4. Para encerrar o professor pode salientar para os estudantes que, e assim como os modelos elaborados por eles, os modelos científicos elaborados por grandes pesquisadores estão sujeitos a falhas.

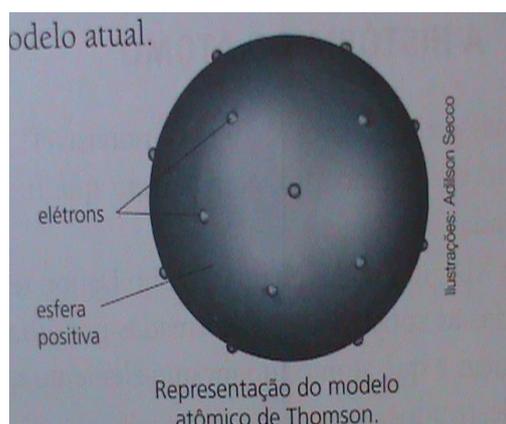
## APÊNDICE E – ILUSTRAÇÕES ATRIBUÍDAS AO MODELO DE THOMSON PRESENTES EM ALGUNS LIVROS DIDÁTICOS



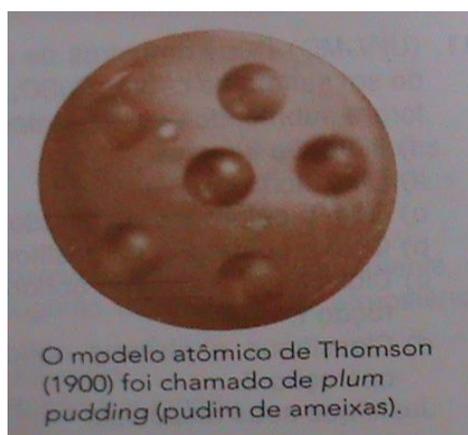
Fonte:  
<<http://www.mundoeducacao.com/quimica/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>>



Fonte:  
<<http://www.mundoeducacao.com/quimica/evolucao-dos-modelos-atomicos.htm>>



Modelo de Thomson livro didático  
Fonte: GOWER, D.O; MARTINS, E.L.  
**Ciências novo pensar: Química e Física,**  
9ª ano. FTD, São Paulo, 1.ed, p.70, 2012.



Modelo de Thomson livro didático  
Fonte: LEMBO, A. **Química realidade e contexto.** Ática, São Paulo, 1.ed, p.70, 2000.

## APÊNDICE F – ORIENTAÇÕES PARA A CONSTRUÇÃO E EXECUÇÃO DA ATIVIDADE “O SEGREDO DO INVISÍVEL”

**Participantes:** equipes com até 5 estudantes

**Objetivo:** empregar um procedimento investigativo para compreender as dificuldades do estudo experimental do átomo.

**Material:**

- Placa de madeira de  $1m^2$ ;
- Cartolina guache;
- Tesoura;
- Lápis;
- Folhas de papel ofício;
- Bolas de gude;
- Folha de isopor de  $0,5 m^2$ .

### 1. Procedimento: construção do experimento: "o segredo do invisível"

1.1. Para a construção do aparato são necessários os seguintes materiais:



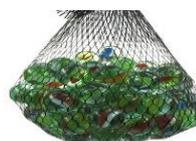
Placa de madeira de  $1m^2$ ;



Cartolina guache



Uma folha de isopor de  $0,5 m^2$ .



Tesoura, régua, lápis, papel ofício e bolinhas de gude.

1.2. De posse desses materiais orientamos para que sejam seguidos os seguintes passos:

- Utilizando a tesoura e cola de isopor, cubra a placa de madeira com a cartolina guache;
- Usando lápis e o papel ofício, desenhe figuras geométricas para cada uma das placas que forem utilizadas. Essas figuras serviram como obstáculos durante a realização do experimento. A seguir estão algumas das figuras utilizadas durante nossa atividade;



- Desenhados as figuras, recorte cada uma delas. Em seguida, pegue esses moldes e desenhe sobre a folha de isopor;
- Feitas as figuras no isopor recorte-as e cola nas placas de madeira, de maneira que fiquem bem centralizadas. Deve-se se ter cuidado no momento das escolhas das bolinhas de gude, para que não sejam mais altas que a espessura do isopor;
- Terminado o aparato, faça os testes com as esferas lançando-as sobre os obstáculos. Esse procedimento deve ser realizado, para verificar se as figuras construídas possibilitam a passagem e desvio das esferas.

## 2. Procedimentos: durante a aula

2.1. Inicialmente o professor deverá colocar as placas num local de tal forma que os estudantes não possam ver os obstáculos.

2.2. Em seguida, as equipes deverão ser formadas para que as seguintes divisões sejam feitas:

- Um membro da equipe ficará responsável por fazer as anotações sobre o que está sendo observado durante o experimento.
- Dois membros deverão lançar as esferas e os outros dois ficarão responsáveis por marcar os pontos de colisão após o lançamento das esferas.

2.3. Para marcar os pontos e tentar traçar as trajetórias os estudantes deverão ter em mãos:

- Caderno para anotações;
- Lápis grafite;
- Régua com escala em centímetros.

2.4. Feitas todas as orientações deve ser dado início a atividade com o lançamento das esferas. Aconselha-se que o professor fique atento para que alguns estudantes não tentem observar os obstáculos. O ideal é que as placas sejam colocadas sobre o piso da sala.

2.5. Em seguida, os estudantes deverão colocar as folhas de papel ofício sobre as placas de madeira para marcarem os pontos de colisão das esferas.

2.6. À medida que uma parte da equipe lança as esferas os outros dois irão marcando os pontos de colisão. Aconselha-se que seja destinado um tempo de 10 minutos para a atividade.

2.7. Em seguida, a equipe deve investigar as melhores formas de ligar os pontos marcados e posteriormente descobrirem que tipo de figura está abaixo da placa.

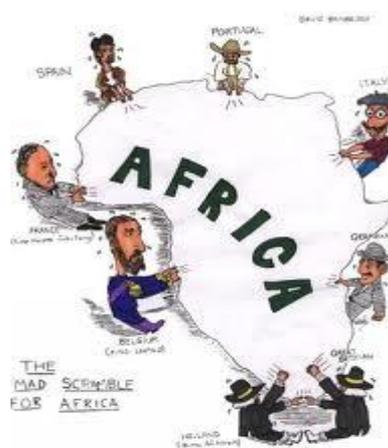
### **3. Procedimentos após a atividade**

3.1. Os estudantes deverão apresentar as figuras que obtiverão com suas investigações e o que os levou a tais configurações.

3.2. Em seguida, o professor deverá discutir com as equipes os seguintes pontos:

- O conhecimento científico depende fortemente, mas não inteiramente, da observação, da evidência experimental, de argumentos racionais e do ceticismo.
- A construção do conhecimento científico requer registros de dados acurados, crítica constante de evidências, das teorias, dos argumentos, pelas comunidades de pesquisadores, e replicação de estudos realizados.
- O estudo de fenômenos da natureza nem sempre pode ser realizado através da observação direta e sim de características sujeitas a diferentes interpretações.
- A imaginação tem um papel muito importante na interpretação de um fenômeno da natureza.
- Os pesquisadores enfrentaram dificuldades no estudo da estrutura atômica, principalmente do que diz respeito à observação dos fenômenos.
- Na investigação científica, os erros podem ser mais comuns que os acertos.
- A imaginação e criatividade foram de grande importância para que Rutherford identificasse o núcleo atômico e suas características físicas.

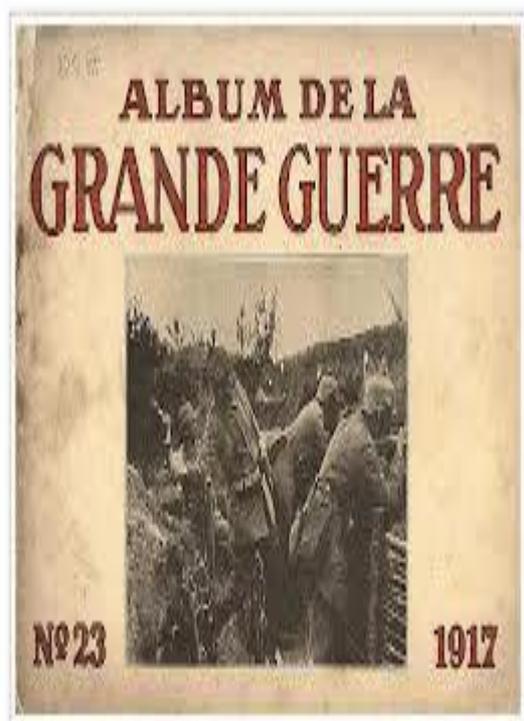
## APÊNDICE G – IMAGENS UTILIZADAS PARA A CONSTRUÇÃO DO PAINEL DA PRIMEIRA INTERVENÇÃO



Imagens que lustram as tensões políticas no começo do século XX. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/historiag/neocolonialismo.htm>>. Acessado em 4 de fevereiro de 2013.



Imagens ilustrando a evolução da indústria. Disponível em: <<http://hid0141.blogspot.com.br/2010/12/historia-do-tanque-de-guerra-primeira.html>>. Acessado em 3 de fevereiro de 2013.



Imagens sobre a primeira grande guerra.

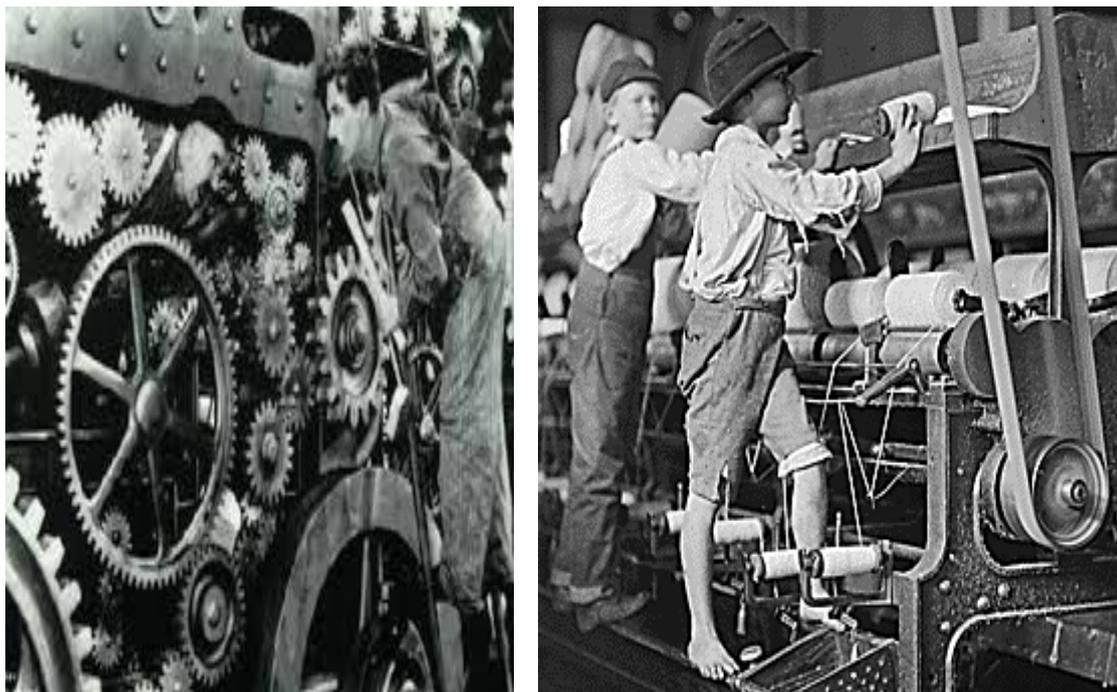
Disponível em: <<http://cafehistoria.ning.com/profiles/blogs/1980410:BlogPost:43936>>

Acesso em 5 de fevereiro de 2013.



Imagens de alguns pesquisadores do final do século XIX e início do século XX.

Disponível em: <[http://noticias.sapo.pt/tec\\_ciencia/artigo/o-que-devemos-a-marie-curie\\_1807.html](http://noticias.sapo.pt/tec_ciencia/artigo/o-que-devemos-a-marie-curie_1807.html)> Acesso em 5 de fevereiro de 2013.



Imagens ilustrando o desenvolvimento da indústria do começo do século XX. Disponível em: <<http://www.libertarianismo.org/index.php/artigos/os-efeitos-da-revolucao-industrial-nas-mulheres-e-criancas/>> Acesso em 3 de janeiro de 2013.

**O PAPEL DA IMAGINAÇÃO NO PENSAMENTO CIENTÍFICO: ANÁLISE DA CRIAÇÃO CIENTÍFICA DE ESTUDANTES EM UMA ATIVIDADE DIDÁTICA SOBRE O ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD<sup>+</sup>\***

---

*Ivã Gurgel*  
*Maurício Pietrocola*  
Faculdade de Educação – USP  
São Paulo – SP

**Resumo**

*Esse trabalho tem como objetivo discutir o papel da Imaginação Científica no Ensino de Física. Para isto, partimos de uma reflexão epistemológica com o intuito de caracterizar o processo imaginativo na atividade científica. Isto foi realizado através de um estudo de referenciais filosóficos contemporâneos e com uma análise histórica do pensamento de Albert Einstein. A análise epistemológica termina com a elaboração de três etapas que caracterizam o processo imaginativo na ciência e constituem categorias de análise para o estudo da imaginação em salas de aula. No segundo momento da pesquisa, buscamos demonstrar que o processo de pensamento, definido através de referenciais teóricos, reflete-se nas reflexões de alunos do Ensino Médio durante a realização de uma atividade didática sobre a experiência de Rutherford.*

**Palavras-chave:** *Imaginação. Einstein. Experiência de Rutherford.*

---

<sup>+</sup> The role of scientific imagination in the Physics thought: an analysis of students' scientific creation in a didactic activity on Rutherford's experiment

<sup>\*</sup> *Recebido: outubro de 2010.*  
*Aceito: fevereiro de 2011.*

## **Abstract**

*This work aims to discuss the role of Scientific Imagination in Physics Teaching. Accordingly, we start from an epistemological reflection in order to characterize the imaginative process in scientific activity. This was done through a study of contemporary philosophical references and a historical analysis on Albert Einstein's concepts. The epistemological analysis draws to a close with the elaboration of three steps that characterize the imaginative process in Science and include analysis categories for the study of imagination in the classroom. In the second part of the study, we demonstrate that the process of thought, defined by theoretical references, is expressed by the impressions of High School students during a teaching activity on Rutherford's experiment.*

**Keywords:** *Imagination. Einstein. Rutherford's experience.*

## **I. Introdução**

Os processos de produção do conhecimento científico vêm sendo objeto de pesquisa há muitos anos, tanto nas pesquisas em Educação Científica, quanto em suas disciplinas correlatas, como a Epistemologia, a Sociologia e as Ciências Cognitivas. Em decorrência dessas pesquisas, foi possível evidenciar algumas exigências/características do pensamento para a construção nas ciências. Seja no contexto dos cientistas, ou daqueles que visam se apropriar do conhecimento produzido por eles, o pensamento científico se diferencia do pensamento popular em vários aspectos. Por exemplo, é importante saber produzir conhecimentos novos a partir dos velhos, como bem destacado nas pesquisas sobre o papel das analogias formais e materiais no desenvolvimento de modelos científicos (SILVA, 2007; HESSE, 1970). O pensamento que visa apreender os fenômenos naturais precisa ser capaz de estabelecer relações causais nas explicações (LOCATELLI, 2006; VIENNOT, 2003). O uso da linguagem nesse processo não pode ser menosprezado, seja na escolha da forma adequada de organizar o conhecimento (YORE et. al., 2003), seja no uso da matemática como estruturante do pensamento (PIETROCOLA, 2002).

No entanto, somente muito recentemente, pesquisadores dessas diferentes áreas têm buscado questionar sistematicamente o papel da *imaginação* na constru-

ção do conhecimento científico (NERSESSIAN, 2008; BYRNE, 2007; PATY 2005; BODEN, 1999). Os modelos criados para explicar diversos fenômenos da realidade são representações que vão muito além do que poderíamos esperar de uma percepção sensorial da mesma (MATTHEWS, 2007). Isso implica admitir que os processos de abstração se desenvolvem por diversos caminhos, muitas vezes com a *criação* do objeto ou fenômeno a ser explicado, e não como decorrente da aplicação de um raciocínio limitado a uma lógica (indutiva ou dedutiva) clara ou evidente. A análise da bibliografia recente dessa área permite destacar uma série de questões relacionadas ao processo criativo da ciência, tais como:

- Quais são os principais meios/caminhos intelectuais de criação na ciência? (NERSESSIAN, 2008)

- A criação na ciência pode ser considerada um processo completamente desprovido de racionalidade? (PATY, 2005; 2001)

- Como os seres humanos criam alternativas à realidade? (BYRNE, 2007)

- O processo criativo tem as mesmas características em diferentes domínios, tais como as ciências, as artes, etc.? (MILLER, 2001, 1996; GARDNER, 1993)

- Quais são os determinantes sociais para a aceitação e o reconhecimento de ideias criativas na ciência? (BRANNIGAN, 1996)

Os resultados destes trabalhos parecem indicar que a atividade criativa, mediada pela imaginação, não é um processo que deve ser resumido a um “momento de inspiração” ou a uma “genialidade individual”. Os autores acima citados parecem considerar que a criação é um processo em que há o desenvolvimento de um pensamento vinculado tanto aos conteúdos conceituais e teóricos (NERSESSIAN, 2008; PATY, 2005), quanto aos objetivos relacionados a construções de explicações e representações alternativas do mundo exterior (BYRNE, 2007). Isso significa afirmar que o pensamento passa por etapas que visam tornar inteligíveis objetos ou fenômenos desconhecidos. No entanto, é importante destacar que a existência destas etapas não implica que elas sejam necessariamente contínuas e/ou puramente lógicas.

Buscou-se, com isso, caracterizar o papel da imaginação no pensamento científico, levando-se em conta tanto os atributos psicológicos/individuais, que têm importante participação na criação, quanto os atributos epistemológicos/coletivos, que estabelecem a necessidade de um saber coerente e minimamente consensual com o que se busca explicar. Contudo, o debate teórico sobre como considerar o papel da imaginação nesse processo de criação ainda está longe de ser concluído. Ainda há pouco consenso sobre como essa faceta do pensamento participa da atividade científica.

Do ponto de vista da educação científica, é bastante aceito que o objetivo educacional a ser alcançado é desenvolver nos alunos “... aptidões e hábitos de pensamento requeridos para construir conhecimentos da ciência” (YORE et. al., 2003, p. 690). No entanto, a necessidade de se desenvolver, ao mesmo tempo, capacidades individuais de criação e conhecimentos preestabelecidos acaba se apresentado como um aparente paradoxo para a maioria dos professores. Arruda e colaboradores apresentam este paradoxo da seguinte forma:

*(...) a Educação em Ciências tem experimentado essa dicotomia com maior intensidade, pois a aprendizagem de um conhecimento bem estabelecido parece exigir competências ortogonais à criação de algo original; aquilo que no primeiro caso representaria excelência (a fidelidade na reprodução), no segundo seria sinônimo de mediocridade (ARRUDA et. al., 2004, p. 195).*

Esse problema nos leva a uma questão em relação aos processos de ensino e aprendizagem, que pode ser expressa da seguinte forma: seria possível o desenvolvimento de situações de aprendizagem nas quais os alunos venham a utilizar capacidades individuais de criação de conhecimento e, ao mesmo tempo, suprir minimamente as exigências do pensamento científico? Para buscar responder a essa questão, primeiramente exploraremos aspectos filosóficos sobre o processo de criação na ciência, baseados na descrição que Albert Einstein faz, ele próprio, de sua prática científica. Em seguida, analisaremos uma atividade didática na qual os alunos são levados a investigar uma situação que se revela misteriosa e para a qual devem “criar” o objeto a ser explicado. Nesta parte do estudo, buscaremos identificar se o pensamento utilizado pelos alunos incorpora aspectos da criação científica como proposto por Einstein.

## **II. A imaginação na Ciência**

Definir a imaginação não é tarefa fácil. Uma rápida consulta a sua origem etimológica nos remete ao verbo latino *imaginari*, que significa “formar quadro/desenho de algo”, ou simplesmente “representar”. No cotidiano, o termo *imaginar* é de uso amplo, podendo ter diferentes significados, dependendo dos contextos em que é utilizado. Pode significar um ideal, como na expressão “a profissão que só existe na minha imaginação”. Ou ainda, uma habilidade na solução de problemas, como na expressão “use sua imaginação e encontre um meio de sairmos daqui!”. No contexto da filosofia, as coisas não são mais simples! As definições assumem características diferentes, dependendo de autores e/ou do sistema teórico no qual se inserem. Uma definição encontrada na bibliografia recente para a noção

de imaginação é a *criação de objetos em um sistema simbólico* (GRANGER, 1998, p. 7). Nesta abordagem, concebe-se o pensamento humano como capaz de gerar representações mentais dos elementos, habilitando o homem a se relacionar com o mundo não apenas por meio dos sentidos, mas também das construções simbólicas que constrói (BRONOWSKI, 1998). Isso permite o desenvolvimento de um pensamento conceitual na medida em que é possível *operacionalizar* os elementos simbólicos. Operacionalizar significa, aqui, estabelecer um sistema de *relações*, de modo que, a partir da inserção dessas *imagens simbólicas* neste sistema, possa-se gerar, por meio da razão, afirmações sobre o mundo.

Contudo, a imaginação, para ser “científica”, não pode ser uma atividade puramente livre. Por mais que seja um ato bastante complexo e de grande subjetividade, por se relacionar com construção simbólica mental do indivíduo, não pode estar desvinculada dos compromissos e dos valores da ciência. As novas ideias, quando produzidas, devem ser condicionadas a uma construção racional, estrutura de pensamento fundamental na ciência. Nesse sentido, o filósofo Gilles-Gaston Granger, em uma importante obra sobre a razão nas ciências, irá considerar:

*A razão evolui no sentido de que o ideal de ordem e o processo de construção dos novos conceitos variam ao longo da história. Assim progride a razão matemática que, longe de ser um corpo fechado de princípios, é imaginação regulada, mas criadora* (GRANGER, 1985, p. 71).

Dessa forma, fica mais clara a presença desse duplo aspecto inerente à imaginação científica: se, por um lado, de forma geral, produz-se elementos simbólicos por meio da composição de representações presentes no imaginário do indivíduo criador (LAPLATINE; TRINDADE, 2003), por outro lado, as produções submetem-se às regras que regulam essa operação, baseadas na racionalidade. Isso faz com que a imaginação tenha um papel importante na ciência: ela é, por definição, a maneira com a qual o pensamento conceitual busca, criativamente, estabelecer regras organizadoras para a realidade.

Para aprofundar o entendimento do processo de criação no contexto científico, exploraremos os relatos autobiográficos de um cientista sobre o seu próprio trabalho. Este procedimento de pesquisa se baseia em escritos, palestras e entrevistas proferidas por cientistas visando o estabelecimento de padrões de pensamento. Ele foi utilizado em outras ocasiões por pensadores como Jean Piaget e Roland Garcia (1989) e Gaston Bachelard (1996, 1978), e é ainda muito utilizado nos dias de hoje por pesquisadores em Epistemologia, Ciências Cognitivas e Educação, tais como Nancy Nersessian (2008, 2002), Michel Paty (2005, 2001), Clive Sutton (1997a, 1997b), Arthur Miller (2001, 1996) e Howard Gardner (1999, 1993).

Dentre tantos cientistas que poderiam ter sua obra científica como objeto de estudo, escolhemos Albert Einstein por duas razões. Primeiramente sua obra científica permite afirmar que se trata de alguém que colocou a imaginação a serviço da criação de novas ideias. Einstein se interessou por questões relacionadas a problemas científicos importantes, com farta referência empírica (dados de experimentos de laboratório, observações astronômicas, etc.), mas que foram abordados a partir de idealizações distantes do cotidiano científico da época e que, portanto, exigiram um amplo trabalho de imaginação. As noções de espaço, tempo, massa e energia foram tratadas segundo uma abordagem epistemológica que não se preocupava em manter compromissos com as ideias até então em voga (PATY, 2001, 1993; MILLER, 1996). O segundo aspecto, talvez o mais importante, é o fato de que ele tenha documentado muitas de suas reflexões sobre seu trabalho científico, o que torna possível o estudo histórico-epistemológico do seu processo criativo. Boa parte de seus relatos são publicados em obras de síntese, entre elas, *Como Vejo o Mundo* e *Escritos da Maturidade*. Outras fontes que se configuram como importantes são: Notas Autobiográficas e suas correspondências já reunidas e publicadas. Entre elas destacamos as com Maurice Solovine e Michel Besso. Esse material permite a reconstrução parcial de sua forma de pensar, sobretudo quando se trata da proposição e estabelecimento de novas ideias.

Conta também a favor da escolha de Einstein, como cientista-filósofo para abordar a questão da imaginação criativa nas ciências, o fato de haver diversos autores, entre filósofos e historiadores, que se debruçaram sobre sua obra. Procuraremos, então, estabelecer o processo de criação de ideias de Einstein cotejando os seus relatos pessoais com os trabalhos de outros autores que trataram do mesmo tema. Dessa forma, tentaremos estabelecer o processo de criação e o papel atribuído à imaginação.

Primeiramente, é importante considerar a posição filosófica que Einstein estabelece em relação aos sistemas filosóficos elaborados desde a ciência moderna até sua época, notadamente o indutivismo, o empirismo e o racionalismo. Einstein tem consciência dos debates entre os partidários dessas correntes, realizando análises explícitas destas (EINSTEIN, 1981). Ele buscava deixar claro que suas concepções sobre o conhecimento diferem dos autores que o precederam, tanto os racionalistas, quanto os empiristas e indutivistas, principalmente quanto às possibilidades de fundamentarmos o pensamento em uma atividade mental livre. Ao considerar as posições empírico-indutivistas, ele declara que:

*Penso que é preciso ainda superar esta posição. Os conceitos que aparecem em nosso pensamento e em nossas expressões lingüísticas são – do ponto de*

*vista lógico – puras criações do espírito e não podem provir indutivamente de experiências sensíveis. Isto não é tão simples de admitir porque unimos conceitos certos e ligações conceptuais (proposições) com as experiências sensíveis, tão profundamente habituados que perdemos a consciência do abismo lógico insuperável entre o mundo do sensível e do conceptual e hipotético (EINSTEIN, 1981, p. 48).*

Apesar de propor um livre pensamento, Einstein buscava deixar claro que suas ideias diferem do idealismo (EINSTEIN, 1981), pois ele não abandonou uma postura realista, ao considerar que a ciência nos permite o acesso a uma realidade desconhecida (EINSTEIN, 2006). No entanto, essas afirmações seriam demasiado vagas se não analisarmos como ele concebia a própria natureza do pensar científico.

Einstein considera que a ciência é uma forma de pensamento que opera com as mesmas bases que o pensamento comum. No entanto, a ciência é *um processo refinado deste pensar* (EINSTEIN, 1994, p.65). Os conceitos da ciência também são extraídos da nossa relação com o mundo sensível (experiências sensoriais), que precisam ser organizadas em nossa mente para tornar o mundo compreensível. No entanto, para que o pensamento seja constituído, não basta que representações do mundo vindas dessas experiências se detenham em nossa memória, mesmo que nestas exista alguma sequência que ligue sua recorrência. Ele define o ato de pensar como a construção de conceitos, sendo estes os elementos de organização do pensamento (EINSTEIN, 1982). Essas construções não são apenas representações diretas do exterior, mas elementos que fazem dos dados da experiência um todo organizado.

*O fato de a totalidade de nossas experiências sensoriais ser tal que é possível pô-las em ordem por meio do pensamento (operações com conceitos, a criação e uso de relações fundamentais definidas entre eles, e a coordenação das experiências sensoriais, com esses conceitos) é por si só assombroso, mas constitui algo que jamais compreenderemos. Podemos dizer que o “eterno mistério do mundo é sua compreensibilidade” (...) Ao falar aqui de compreensibilidade, estamos usando o termo em seu sentido mais modesto. Ele implica: a produção de algum tipo de ordem entre impressões sensoriais, sendo essa ordem produzida pela criação de conceitos gerais, pelas relações entre esses conceitos e por relações entre os conceitos e as experiências sensoriais, relações estas que são determinadas de todas as maneiras possíveis. É nesse sentido que o mundo de nossas experiências sensoriais é*

*compreensível. O fato dele ser compreensível é um milagre (EINSTEIN, 1994, p. 56).*

Ao criar os primeiros conceitos que estão proximamente relacionados com o mundo sensível, o pensamento já começa a trabalhar com categorias de objetos e não mais com os próprios objetos do mundo sensível. Einstein chama esses conceitos de *conceitos primários* (EINSTEIN, 1994). As categorias de objetos são a primeira fase de criação de conceitos sobre o mundo. No entanto, eles são, além de arbitrários, insuficientes do ponto de vista lógico, pois pouco se relacionam racionalmente uns com os outros (EINSTEIN, 1994). O processo de criação científica não pára por aí, onde provavelmente estacionaria o pensamento comum. Ele continua com a proposição de conceitos mais abstratos, designados por *conceitos secundários* (EINSTEIN, 1994). Esses conceitos têm a vantagem de melhor se relacionar por meio da lógica (EINSTEIN, 1982). Se ganham em rigor lógico, perdem, pouco a pouco, sua relação com as representações mais próximas da realidade e, com isso, parte de seu significado original. Tornam-se abstrações que não equivalem diretamente a nenhuma parcela do mundo percebido pelos sentidos. Reforçando a empreitada racional da ciência, Einstein afirma que os conceitos primários devem ser deduzidos logicamente dos conceitos secundários, garantindo correlação e não arbitrariedade dos segundos em relação ao mundo (EINSTEIN, 1994). O valor das relações lógicas está em reduzir a totalidade da experiência a um todo compreensível em termos de poucos conceitos (EINSTEIN, 1982). Isso confere unidade a uma diversidade de percepções que pareciam, à primeira vista, desconexas. Para o cientista, a simplicidade lógica deve ser critério de cientificidade, pois nela se encontra a possibilidade de tornar o mundo inteligível a nós, pois quanto mais simples a lógica de relações, mais facilmente se poderá organizar um número grande de dados sensoriais e, assim, tornar o todo uma unidade compreensível. No entanto, a relação dos conceitos operados pela lógica com o mundo sensível não é simples. Einstein alerta para a impossibilidade de relacionarmos logicamente os conceitos fundamentais com o mundo experimental. (EINSTEIN, 1992). Esses conceitos, os secundários, são fruto de uma relação arbitrariamente construída, onde o hábito, a herança sociogenética, os valores e os projetos de conhecimento acabam tendo papel decisivo. Por isso não pode haver relação lógica entre eles e o mundo (MILLER, 1996; MERLEAU-PONTY, 1993).

*Um adepto das teorias da abstração ou indução poderia chamar nossas camadas [conceitos primários e secundários] de “graus de abstração”; não considero justificável, porém, esconder o quanto os conceitos são logicamente independentes das experiências sensoriais (EINSTEIN, 1994, p. 68).*

A relação entre conceitos e o mundo sensível é um aspecto importante no pensamento filosófico einsteiniano. Sua posição de não haver uma relação lógica entre esses elementos e a experiência significa que não podemos relacioná-los por meio de regras claras e objetivas. Ele irá considerar que a relação entre o “mundo racional” e o “mundo sensorial” é feita por meio da intuição, mesmo que a intuição não possa ser admitida como uma categoria objetiva ou “científica”.

*A conexão dos conceitos básicos do pensamento comum com os complexos de experiências sensoriais só pode ser compreendida de modo intuitivo, não se prestando a uma determinação cientificamente lógica* (EINSTEIN, 1994, p. 66)

Um dos elementos mais importantes da cientificidade, como já apontado anteriormente, é a coerência racional que os conceitos apresentam entre si quando operam internamente ao pensamento na forma de teorias. O estabelecimento de uma teoria se baseia, então, na existência de uma lógica científica, que se traduz por regras *internas ao pensamento* (EINSTEIN, 1982, p.22). Einstein aponta que os estabelecimentos dessas regras são mutáveis, contudo, é a existência delas que torna a ciência possível.

*O essencial é o objetivo de representar a multiplicidade de conceitos e proposições próximos da experiência como teoremas, logicamente deduzidos e pertencentes a uma base, o mais estrita possível, de conceitos e relações fundamentais, que possam, eles próprios, ser livremente escolhidos (axiomas). Essa liberdade de escolha, porém, é de um tipo especial; não é nada similar à de um escritor de ficção. Assemelha-se, antes, à de um homem empenhado em resolver uma charada bem formulada. Ele pode, sem dúvida, propor qualquer palavra como solução; mas há apenas uma que resolve realmente a charada em todas as suas formas. É um efeito da fé que a natureza – tal como é perceptível a nossos cinco sentidos – assume o caráter de uma charada igualmente bem construída* (EINSTEIN, 1994, p. 68).

A “resolução de charadas” é algo fundamental na concepção de imaginação de Einstein. Ele afirma que nosso pensamento é um jogo livre de conceitos (EINSTEIN, 1982, p.14), havendo uma distinção entre a atividade sensória das impressões e a sua produção. Para ele, o ato de “pensar” põe em jogo, além das imagens resultantes das impressões dos sentidos, os conceitos. No entanto, a livre criação considerada por Einstein é de um tipo especial, pois o autor considera que somente uma resposta serve como solução. Com isso, a imaginação adquire um aspecto objetivo, pois, apesar de o pensamento operar sem restrições cognitivas,

ele é guiado pela busca de uma resposta que se torna a chave para a apreensão de um conjunto de fenômenos.

A livre criação de conceitos passa a ter um significado especial quando Einstein considera que é somente através dela que nos orientamos na realidade. Assim, o realismo proclamado por Einstein é, na verdade, um abandono do realismo clássico, que busca uma correspondência direta entre construção simbólica e realidade, em prol de uma visão em que o conhecimento não é uma cópia da realidade, mas sim um caminho de acesso a ela.

*É isto que queremos dizer quando associamos uma “existência real” ao objeto corpóreo. A legitimidade desta associação repousa unicamente sobre o fato de que, com o auxílio de tais conceitos e das relações mentalmente estabelecidas entre eles, podemos nos orientar por entre o emaranhado de sensações. É por este motivo que estes conceitos e relações – embora livres definições do pensamento – parecem-nos mais firmes e imutáveis que a experiência sensível única, cujo caráter nunca poderemos com segurança deixar de atribuir à ilusão ou a alucinação. Por outro lado, conceitos e relações, em particular o estabelecimento de objetos reais ou mesmo de um “mundo real”, só são justificáveis na medida em que estão associados a experiências sensíveis entre as quais criam associações mentais (EINSTEIN, 2006, p.9)*

Com isso, o que garante a ontologia dos conceitos não é a correspondência direta com a realidade, mas o fato de as ideias elaboradas nos orientarem corretamente nela. Em uma analogia simples, poderíamos afirmar que os conceitos são como um “mapa mental”, que nos permite caminhar sobre uma realidade que permanecerá oculta e escura aos nossos olhos. O sucesso está em que, apesar de este mapa ser algo bem diferente da realidade, as novas teorias sempre estabelecem caminhos precisos e bem delimitados. Nesse sentido, ele irá dar um papel especial à matemática, pois ela estrutura e direciona o acesso à realidade (EINSTEIN, 2006, 2005). Quando a imaginação se submete às suas proposições, as organizações criadas por ela podem ser legitimadas como conhecimentos válidos (EINSTEIN, 1981).

Um relato importante no contexto da criação científica é a carta escrita ao amigo Maurice Solovine, em 7 de maio de 1952. Nela, Einstein detalha, com auxílio de um diagrama, seu entendimento sobre o processo de criação científica da seguinte maneira:

*(...)Eu vejo as coisas, esquematicamente, da seguinte forma:*

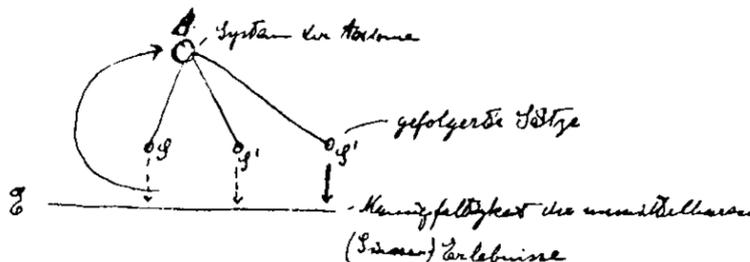


Fig. 1 – Representação do processo de criação feito por Einstein.

A: Sistemas de Axiomas; S: Proposições Deduzidas;

E: Variedade das Experiências Imediatas.

As E (experiências imediatas) nos são dadas. A são os axiomas, de onde nós tiramos as conclusões. Psicologicamente os A repousam sobre as E. Mas não existe nenhum caminho lógico conduzindo das E aos A, mas somente uma conexão intuitiva (psicológica), que é sempre “em direção a uma nova ordem”. A partir dos A, são deduzidos por via lógica as afirmações particulares S, que podem pretender a ser exatas. Os S são colocados em relação com as E (verificação pela experiência). Este procedimento, a ser visto de perto, pertence igualmente à esfera da extralógica (intuitiva), porque a relação entre as noções apresentadas em S e as experiências imediatas E não são de natureza lógica. Mas essa relação entre os S e as E, é (pragmaticamente) muito menos incerta que a relação entre as A e as E. (Por exemplo, a noção cachorro e as experiências imediatas correspondentes.) Se uma tal correspondência não pudesse ser obtida com uma grande segurança (se bem que ela não seja logicamente mantida), a maquinaria lógica seria sem nenhum valor para a “compreensão da realidade” (exemplo, a teologia). A quinta-essência de tudo isso é a conexão eternamente problemática entre o mundo das ideias e aquele que pode ser experimentado (experiências imediatas dos sentidos)(...) (EINSTEIN, 1956, p.43)

Devemos notar, aqui, o salto proposto por Einstein entre o plano da experiência sensível para o plano das premissas. Essa é a criação subjetiva do pensamento, em que ele pode representar sinteticamente as ideias (HOLTON, 1979).

Porque o criador tem esta característica: as produções de sua imaginação se impõem a ele, tão indispensáveis, tão naturais, que não pode considerá-las como imagem do espírito, mas as conhece como realidade evidentes (EINSTEIN, 1994, p. 145)

Neste momento, as ideias se tornam organizadas pelo pensamento e as experiências inicialmente desconexas são apreendidas conjuntamente, formando uma totalidade única. Essa é uma visão imediata, isto é, manifesta-se na consciência que a resposta foi obtida e que a clareza de seu conteúdo vem em um momento marcado no tempo do sujeito. Pode-se reconstituir logicamente as razões, mas a certeza da boa resposta repousa nas experiências anteriores do pensamento (PATY, 2001). Nesse caso, podemos afirmar que, de acordo com a estrutura de pensamento proposta por Einstein, após a criação de um conceito secundário (com maior grau de abstração), é possível, a partir dele, deduzir e ter uma nova compreensão dos conceitos primários que o pensamento havia extraído diretamente da experiência sensorial.

Outro relato igualmente importante é aquele no qual Einstein faz explicações sobre seu pensamento em uma carta ao matemático e psicólogo Jaques Hadamard. De uma maneira bastante inovadora para o início do século XX, Hadamard busca compreender o processo de invenção no domínio da matemática. Ele solicita a Einstein que descreva como seu pensamento funciona. Em sua resposta, Einstein escreverá sobre como opera seu pensamento, principalmente em atos de compreensão do novo.

*As palavras e a linguagem, escritas e faladas, não parecem representar o menor papel no mecanismo de meu pensamento. As entidades psicológicas que servem de elemento ao pensamento são certos signos ou umas imagens mais ou menos claras, que podem “à vontade” ser reproduzidas e combinadas. Existe naturalmente uma certa relação entre esses elementos e os conceitos lógicos em jogo. É igualmente claro que o desejo de chegar finalmente a esses conceitos logicamente ligados é a base emocional desse jogo muito vago, sobre os elementos das quais eu falei. Mas do ponto de vista psicológico, esse jogo combinatório parece ser uma característica essencial do pensamento produtor – haveria alguma passagem anterior à construção lógica em palavras ou outros gêneros de signos que nós não possamos comunicar a outro. Os elementos que eu venho de mencionar são, no meu caso, de tipo visual e, por vezes, motor. As palavras ou outros signos convencionais só vêm a ser procurados com dificuldade em um estado secundário, onde o jogo de associações em questão é suficientemente estabelecido e pode ser reproduzido à vontade. Após isso que acabei de dizer, o jogo sobre os elementos mencionados visa ser análogo a certas conexões lógicas que nós procuramos (EINSTEIN, apud HADAMARD, 1959, p.82-83, tradução livre, grifos nossos)*

Nesta carta, é interessante notar o papel atribuído ao pensamento não-conceitual como prévio à conceitualização, em que imagens ou signos mais gerais são a base do entendimento que buscará, em um segundo momento, uma formulação lógica e estável ancorada na linguagem. Aqui, também, é interessante notar o papel que Einstein dá à vontade emocional necessária ao processo de construção das ideias, vontade esta que consiste em obter um entendimento individual de uma realidade que se apresenta fragmentada.

Einstein apresenta uma visão bastante nova sobre a criação científica, mesmo para os dias de hoje. O elemento mais importante de sua filosofia é o de conseguir conciliar as dimensões da racionalidade e da imaginação no trabalho de criação na ciência. Ao mesmo tempo que fica evidente a importância da liberdade de pensamento e de sua dimensão subjetiva na construção do conhecimento (em que há a busca de uma compreensão individual e intuitiva do mundo), fica clara, também, a importância dos valores lógicos-rationais (em que há necessidade de conhecimento coerente que possa ser compartilhado com uma comunidade). Além disso, o objetivo da ciência como uma forma de apreensão do real não é abandonado. Mesmo admitindo que o pensamento abstrato não tenha uma correspondência direta com a realidade a ser compreendida, este não deixa de ser a maneira mais fiel que temos de lidar com ela. Com isto, o desenvolvimento do pensamento está aberto a etapas de diferentes naturezas, confrontando-se de diversas maneiras com a realidade.

As reflexões apresentadas sobre o pensamento de Einstein fornecem um *quadro sintético* sobre o papel da imaginação como ato criador do pensamento científico. É importante deixar claro que, na perspectiva einsteiniana da ciência, a imaginação não se restringe a uma mera reprodução mental de dados sensoriais. Nessa concepção, a imaginação deve ser considerada como ato criador que busca apreender a realidade exterior extrapolando a mera percepção. Na exposição que Einstein faz de seu próprio processo criativo, verificamos o cuidado em não recair a um idealismo, isto é, na crença da capacidade da mente em produzir, por si mesma, esquemas conceituais sem referência forte ao mundo exterior. Dessa maneira, ele apresenta um quadro epistemológico diferenciado, onde a imaginação tem papel fundamental. O primeiro ponto a ser destacado nesse quadro é que a imaginação, mesmo que concebida como uma atividade de criação livre, não pode transcender a interação do indivíduo com a realidade que busca explicar. Nos seus termos, a “charada sustentada pela fé” pertence ao mundo e não à mente. A mente, como que investida de uma empreitada emocional, tem como meta resolvê-la. Assim, pode-se estabelecer que a imaginação deve partir de uma relação do sujeito com o exterior, sendo que as primeiras percepções mentais, que ele adquire através

da intuição, formam a base de representações imaginárias sobre as quais o pensamento operará. Ainda é importante salientar que essas representações não se resumem apenas a elementos conceituais. Elas integram também imagens e signos de maneira mais amplas que não advêm apenas de uma interação imediata com o exterior, mas também de percepções semelhantes oriundas da vivência do indivíduo que, no entanto, ainda não estão organizadas em sua mente.

Um segundo ponto importante e fundamental para a caracterização do ato criativo é a vinculação das representações mentais imaginadas com uma estrutura que dará significado à totalidade fragmentada das percepções. Nesse processo, a criação produzida inicialmente pela imaginação é submetida à racionalidade na busca de uma apreensão sintética da realidade tal qual se apresenta à nossa mente. Para Einstein, este é o momento do “salto criativo”, em que o indivíduo torna a realidade, até então obscura e desconexa, inteligível.

O último destaque fica por conta da possibilidade de aferição. Após formar uma representação conceitual completa da realidade exterior, as consequências deduzidas a partir dessa representação podem ser confrontadas com informações advindas do mundo exterior. O sucesso nessa empreitada habilita a criação conceitual a se tornar guia para a interpretação dessa realidade. Em outras palavras, trata-se de verificar se suas ideias refletem, em alguma medida, percepções do mundo exterior.

Para os objetivos pretendidos neste trabalho, é importante oferecer algum tipo de interpretação esquemática do processo criativo sugerido por Einstein. Isso porque pretendemos avaliar o uso da imaginação na educação científica. Mesmo correndo o risco de reducionismo, sugerimos que a epistemologia de Einstein inclui três momentos ou etapas marcantes, que podem ser sumarizados da seguinte forma:

**Etapa 1 – Percepção Intuitiva da Realidade:** Nesta etapa, o pensamento estabelece uma interação multifaceta com a realidade a ser compreendida, fazendo uso de acervo de conhecimento do indivíduo. Essa interação depende mais de uma percepção subjetiva (como indivíduo singular) que pode fazer referência a outras percepções e representações previamente formuladas em sua mente, do que a busca de elementos objetivos presentes na realidade.

**Etapa 2 – Salto Criativo que liga as Percepções aos Conhecimentos Gerais:** Nesta etapa, o pensamento vincula a diversidade percebida com um corpo de conhecimentos gerais que podem ser axiomas, leis, princípios, etc. Estes podem ser inéditos, como ocorre numa “descoberta” científica, ou podem ser reconstruções, no caso de uma aprendizagem póstuma, como ocorre, por exemplo, em ambi-

ente escolar. Neste caso, as percepções do indivíduo são, pela primeira vez, organizadas pelo corpo de conhecimentos a ser aprendido. No esquema proposto por Einstein a Solovine, esta etapa corresponderia à flecha que parte das experiências **E** aos axiomas **A**.

**Etapa 3 – Verificações:** No qual o pensamento, a partir do conhecimento construído, verifica se a variedade de experiências imediatas **E** se encontra organizada. Para isso, confronta as proposições **S** deduzidas, isto é, as possíveis conclusões que o conhecimento criado permite estabelecer com a realidade percebida.

Consideramos que esses três momentos fornecem um quadro geral do pensamento criativo, evidenciando o papel fundamental da Imaginação Científica. Finalmente, é importante destacar que essa categorização do processo de imaginação, como qualquer outra categorização, é reducionista e contém certa dose de arbitrariedade. No entanto, ressaltamos que ela é necessária para que se torne possível o estudo sistemático de situações didáticas.

A seguir, utilizaremos esse quadro geral para analisar uma atividade de ensino-aprendizagem onde o uso da imaginação é requisito fundamental. A atividade envolve o estudo dos meios utilizados pela ciência para determinação dos modelos atômicos.

### III. Episódio de ensino e análise de dados

A atividade didática analisada intitula-se “Descoberta do Núcleo Atômico”, e se baseia na experiência desenvolvida por Rutherford para evidenciar a existência do núcleo no átomo. Ela faz parte de uma sequência de ensino-aprendizagem constituída por atividades que discutem as ordens de grandezas vinculadas ao mundo atômico e subatômico, desde os primeiros modelos de átomos elaborados no início do século XX. Esta sequência de atividades é a segunda de um curso de Introdução às Partículas Elementares, destinado a estudantes do terceiro ano de Física do Ensino Médio. O curso foi desenvolvido por Maxwell da Purificação Siqueira, no contexto de sua dissertação de mestrado, orientada por um dos autores deste artigo. O conjunto completo de atividades pode ser obtido em Siqueira (2006).

Na experiência de Rutherford de 1908, um feixe colimado de partículas alfa, obtido através de uma amostra radioativa, incidia sobre uma folha muito fina de átomos de ouro. Analisando as trajetórias dessas partículas, após colidirem com a folha de ouro, Rutherford deduziu, três anos mais tarde, que deveria existir um

núcleo atômico carregado positivamente e elétrons em uma região exterior ao mesmo (SIQUEIRA, 2006).

A atividade de ensino propõe uma versão analógica da experiência de Rutherford. No lugar de partículas alfa, bolinhas de gude; no lugar da folha de ouro, um alvo escondido sob uma placa de madeira. O objetivo da atividade é fazer com que os alunos vivenciem os processos de investigação do mundo subatômico. Na situação didática, os alunos devem descobrir o formato do alvo que se encontra escondido sob a placa, lançando bolinhas.

Para a realização da atividade, grupos de 4 ou 5 alunos já recebem montado o material da atividade que consiste de uma placa de madeira de aproximadamente  $1\text{ m}^2$ , na qual estão fixados pedaços de isopor na forma de uma figura geométrica, regular ou não (Fig. 2). Além disso, recebem uma quantidade de bolinhas de vidro, cujo diâmetro permite que passem sob a placa e atinjam o alvo (isopor). Atirando as pequenas bolinhas sobre o alvo, os alunos deverão inferir a forma do objeto pela análise das trajetórias das mesmas. Através desse processo, eles deverão fazer uma representação (desenho) do objeto invisível. Para a solução não ser demasiado simples, as formas são compostas, como triângulos colados simetricamente, ou semicírculos colados paralelamente. As duas figuras abaixo são exemplos de “alvos” ocultos usados na atividade.



*Fig. 2: Alguns exemplos de alvos utilizados na atividade.*

A montagem fica alojada sobre uma mesa ou no chão, de modo que os alunos não olhem com facilidade por baixo da placa. Nas versões atuais dessa atividade, a placa e a figura de isopor colada abaixo são pintadas de preto, para dificultar a visão direta do alvo.



*Fig. 3: Placas dispostas na posição indicada para a realização da atividade.*

Para a realização da atividade, três tarefas são solicitadas aos alunos:

i) Atirar, uma a uma, as bolinhas sobre o alvo abaixo da placa e acompanhar seu movimento após a colisão.

ii) Marcar em uma folha colocada sobre a placa a trajetória de cada bolinha, antes e depois de entrar por baixo dela.

iii) Fazer uma representação hipotética da figura escondida abaixo da placa.

É importante destacar que a atividade proposta tem por objetivo levar o aluno a:

i) ter a curiosidade estimulada, pois fica claro, durante a execução, que a solução depende fundamentalmente de sua capacidade de inventar formas que expliquem as observações feitas por eles.

ii) formular hipóteses livremente, visto que não há nenhuma indicação direta de como determinar o formato do objeto sob a placa.

iii) fornecer dados à percepção, tanto na partida da investigação, quando acompanha o comportamento inicial das bolinhas; quanto na verificação das “deduções” tiradas a partir das hipóteses que faz sobre a forma do objeto escondido.

A atividade foi elaborada para apresentar o contexto original do experimento que permitiu a proposição do modelo atômico de Rutherford, com destaque para os meios e os procedimentos utilizados para inferir a estrutura interna da matéria. Vale destacar que em nenhum momento da atividade é dito aos estudantes que se trata de um exercício de imaginação ou que a capacidade imaginativa será avaliada. Tanto na construção como na execução da atividade, nem o autor do material, nem o professor da classe tinham interesse em investigar a imaginação científica, mas tão simplesmente de fornecer um meio de estudo sobre o núcleo atômico. Tanto o material da atividade, como a fita gravada foram produzidos dentro do contexto de um projeto que visava a introdução de Física Moderna no Ensino Médio. O interesse pelo estudo da imaginação foi posterior a esse projeto, assim como a decisão de analisar esta atividade.

A atividade foi gravada em vídeo e áudio. Uma pessoa externa à classe ficou responsável pela filmagem. Havia apenas uma câmera para captação e dois grupos foram escolhidos aleatoriamente, tendo seu trabalho acompanhado, tornando-os o foco de filmagem. Como os dois grupos estavam próximos, na mesma bancada, e os momentos de discussão não eram constantes, foi possível que o operador da câmera buscasse obter as falas de alunos de ambos os grupos. Um elemento importante é que todas as aulas da turma eram filmadas desde o início das atividades escolares. Isso fez com que, durante a aula analisada, os alunos já estivessem habituados com a presença da filmadora na sala de aula e esta não pareceu interferir em seus comportamentos, como revelaram posteriormente as gravações.

As gravações não formam *per se* um corpo de dados a ser estudado. Para isto, é necessário definir as situações em que os acontecimentos relevantes ocorreram (CARVALHO, 2005; ERICKSON, 1998). Para a análise foram selecionados “episódios de ensino”, isto é, “momentos extraídos de uma aula, onde fica evidente uma situação que queremos investigar” (CARVALHO, 2005, p. 35, tradução livre).

Nas transcrições buscou-se garantir total fidelidade à fala dos alunos e, também, atentar aos gestos e às entonações, pois estes podem revelar elementos importantes para a análise (CARVALHO, 2005). Fizemos pequenas correções de português nas transcrições, de modo a deixar a leitura do texto mais fluente. Tomamos o cuidado de assim fazê-lo apenas quando percebemos que isso não alterava o sentido da fala nem atrapalhava a interpretação das entonações do locutor.

Para a apresentação na transcrição, cada episódio foi dividido em turnos, isto é, como é comum que mais de uma pessoa fale num episódio, ou mesmo uma fala seja interrompida várias vezes, dividimos o texto nestas interrupções. A cada início de enunciação, um novo turno é iniciado (GALEMBECK, 1997). Com isso, os dados serão apresentados da seguinte forma:

Tempo	Turno	<b>Participante:</b> Fala do Participante (1)	(1) Gestos ou Acontecimentos Relevantes
-------	-------	---	---

Na sequência não é diferenciado o grupo ao qual pertence o aluno que enuncia. No entanto, sempre que há um debate com proposição e resposta, que configura um episódio, podemos garantir que são alunos do mesmo grupo, pois em nenhum momento houve debates entre alunos de diferentes grupos.

O item da primeira coluna indica o tempo percorrido desde o início da aula, quando determinado turno se inicia. Para a transcrição, utilizamos o relógio do aparelho de DVD como referência. A segunda coluna indica o turno que a fala aconteceu, sendo numerados a partir de 1, no início da aula. A terceira coluna indica em negrito quem está enunciando e após, em letra normal, a fala do participante. Finalmente, na quarta coluna, apresentamos possíveis gestos ou acontecimentos que podem esclarecer a fala transcrita na coluna três. Vale ainda notar que, quando um gesto ocorre em um determinado momento da fala, inserimos a notação entre parênteses (1), para indicar o momento da ocorrência do gesto. Como podem ocorrer mais de um acontecimento durante a mesma fala, estes também são numerados. Nas transcrições, utilizamos as normas definidas por Preti (1997). Esclarecemos que o uso de negrito nas transcrições é um destaque feito pelos pesquisadores para ressaltar algo relevante na fala.

Em alguns momentos da aula analisada, a gravação perde completamente o áudio, fazendo com que algumas falas sejam inaudíveis. Isso não prejudica o sentido total da análise e veremos que o número de falas perdidas é pequeno.

A aula analisada foi realizada na Escola Estadual Miguel Munhoz Filho, localizada na região central da cidade de São Paulo, em setembro de 2005. A turma contava com cerca de 20 alunos e teve duração de 45 minutos. O Professor iniciou a aula com uma apresentação da atividade baseada na experiência de Rutherford, que durou cerca de 15 minutos. Após isso, durante aproximadamente 25 minutos, os alunos, divididos em 5 grupos, realizaram a atividade.

A reação inicial dos alunos foi muito favorável, todos os grupos colocando-se ao trabalho em poucos minutos. Uma das primeiras manifestações registradas em um dos grupos é a que segue:

20:06	25	<b>Aluno 3:</b> Presta a atenção... <b>Imagine que esse quadrado...</b> <b>Imagine</b> que a tábua está assim (1)	(1) Aluno faz um giro de 45 graus na placa de madeira para indicar que a figura abaixo dela deve estar naquela posição.
-------	----	---	---

O extrato indica que os alunos percebem de imediato (cerca de cinco minutos após o início da atividade) a necessidade de uso da imaginação para a solução do enigma.

Durante cerca de mais de dez minutos os alunos atiram as bolinhas incessantemente para verificar as possíveis trajetórias destas. Esse processo somente permite que eles tenham inferências indiretas do objeto que procuram representar. Eles percebem a necessidade de se atirar as bolinhas diversas vezes para formar uma representação do objeto escondido abaixo da placa. A sequência de transcrições, retirada dos primeiros instantes de realização da atividade, parece indicar a primeira etapa, *a percepção intuitiva da realidade*. Vejamos nos extratos abaixo que os alunos “...partem de uma interação multifaceta ... com a realidade a ser compreendida” .

18:15	2	<b>Aluno 1:</b> Então tá, deixa eu ver bem onde que ta ((Inaudível))	Alunos do grupo interrompem.
18:23	3	<b>Aluno 1:</b> Aqui ela passa direto aqui.	
18:31	4	<b>Aluno 2:</b> Vai anotando.	
18:34	5	<b>Aluno 1:</b> Oh (1)	(1) Aluno 1 mostra o caminho percorrido pela bolinha quando ele joga
18:38	6	((Inaudível))	Alunos atiram várias bolinhas em sequência, verificando os caminhos percorridos.
18:52	7	<b>Aluno 3:</b> Ele bate aqui (1)	(1) Um aluno, após jogar a bolinha muitas vezes, verifica que há um ponto determinado em que a bolinha é desviada. O aluno 4 aponta na placa onde ela acha que a bolinha bate.
19:00	8	<b>Aluno 3:</b> Joga mais. Joga aqui (1)	(1) Aluno 3 aponta para parte lateral da placa.
19:02	9	((Inaudível))	Aluno 4 joga a bolinha
19:05	10	<b>Aluno 3:</b> Viu, pegou nessa aqui.	

A fala no turno 3 é interessante porque mostra o momento em que, após o aluno jogar diversas vezes a bolinha, este começa a buscar uma ordem em suas impressões, pois quer verificar, da maneira mais precisa possível, o caminho percorrido por cada bolinha.

Durante esse processo, eles começam a perceber que nem todas as regiões do alvo se comportam da mesma maneira e que existem pontos particulares nos quais um “evento” acontece em relação à trajetória das bolinhas. Isso fica claro no turno 7 e é algo importante pois, a partir dessas constatações, eles poderão criar a imagem de um objeto mais rica em detalhes. Além disso, no turno 8, o aluno mostra a necessidade de refinamento de suas percepções, passando a atirar as bolinhas em regiões muito bem determinadas.

A necessidade de refinamento é reforçada pela fala do professor, quando este discute com o grupo:

22:57	34	<b>Professor:</b> Gente, deixa eu dar uma sugestão pra vocês, ó. Já que vocês estão jogando e a bolinha ta voltando. Porque vocês não marcam aqui (1), de leve, como é que ela ta indo, como é que ela ta voltando. <b>Porque depois de vocês fazerem vários testes, vocês vão ter ideia de como é a superfície.... se você joga várias vezes, você sabe como é.</b>	(1) Professor aponta para o papel que os alunos colocaram em cima da tábua.
-------	----	--	---

Após a indicação do professor é interessante notar como os alunos passam a ser cada vez mais cuidadosos com seus “dados” de percepção. Isso fica claro na sequência que vem após a fala do professor:

23:46	37	((Inaudível))	Professor dá orientação para os alunos marcarem no papel as trajetórias feitas pela bolinha.
24:20	38	((Inaudível))	Alunos atiram as bolinhas e fazem as marcações na folha.
24:56	39	<b>Aluno 5:</b> Escreve aí, vai e volta nas laterais (1)	(1) Alunos verificam que, quando jogam a bolinha em uma trajetória com 45 graus em relação à lateral da placa, ela bate e volta na mesma linha, verificando que ali é uma das laterais do quadrado abaixo do quadro.

25:10	40	((Inaudível))	Aluno 3 ajusta a posição da folha que está em cima da tábua para ela ficar na posição exata em relação ao quadrado que eles imaginam estar abaixo.
25:48	41	((Inaudível))	Alunos começar a atirar as bolinhas do lado oposto para verificar se o efeito é o mesmo em relação às observações anteriores.
27:01	42	<b>Aluno 3:</b> Então, vou jogar desse lado (1) Então, quer dizer que está nesta posição (2)	(1) Aluno aponta para segunda lateral da placa de madeira. (2) Aluno mostra a posição da folha em cima da placa indicando estar correta.

Neste momento da aula, a câmera passa a focalizar o grupo que trabalha ao lado. Neste momento este grupo já está numa fase mais avançada da atividade, mas é muito interessante ver que eles ainda realizam um processo muito semelhante ao que o primeiro grupo passou, isto é, tentando marcar bem as trajetórias das bolinhas e procurando verificar a existência de detalhes no objeto. Temos uma sequência que registra isso:

27:40	44	<b>Aluno 6:</b> Aqui ela sempre passa (1)	Aluno 7 indica que no centro da placa há uma parte vazia pela qual a bolinha passa sem colidir com nada
27:53	45	((Inaudível))	Alunos marcam uma série de trajetórias para mostrar em qual ponto a bolinha entra embaixo da placa e em qual ela sai.
29:12	46	<b>Aluno 8:</b> O que dá pra entender é que ela é aberta aqui no meio, é só fechada em algumas partes, porque ela passa por um lado, passa por meio e tipo, ela bate em algumas partes.	
29:18	47	<b>Aluno 7:</b> As partes que ela vai reto é sempre na beirada.	
29:25	48	<b>Aluno 7:</b> É assim ó (1) quando vai no meio.... só nestas partes ela volta.	Aluno indica com a mão quais as regiões ele considera haver as partes em que há a figura, isto é, não são vazadas.
29:31	49	<b>Aluno 8:</b> Mas tem uma parte aberta.	

29:53	50	((Inaudível))	Alunos atiram as bolinhas para verificar as regiões em que há preenchimento.
-------	----	---------------	--

Sobre essa primeira etapa de resolução temos poucas outras falas representativas sobre a forma como os alunos constituíram suas percepções. Vale mais a análise do modo geral como eles realizaram a atividade: inicialmente, buscando fazer todos os testes possíveis com as bolinhas; depois, marcando as trajetórias de várias maneiras. Essa postura indica a **busca, como afirmamos na seção 2, por uma pluralidade de percepções visando constituir a figura do objeto que eles querem representar**. Além disso, é interessante notar que os alunos passam a querer “refinar” suas percepções, mesmo que fique claro que eles não terão um contato direto com a figura a ser representada.

A segunda etapa, o *salto criativo*, é, como afirmamos anteriormente, quando o pensamento vincula a diversidade percebida com um corpo de conhecimentos gerais, que podem ser ideias que os alunos já conhecem de sua vivência escolar anterior. Esta é uma etapa de difícil identificação por meio da fala dos alunos. O que observamos é a busca de vincular as percepções obtidas na etapa 1 às formas geométricas conhecidas:

19:26	19	<b>Aluno 3:</b> É um quadrado aqui assim ó (1)	(1) Aluno 3 faz um movimento com a mão indicando o formato de um quadrado e sua posição abaixo da placa.
19:29	20	((Inaudível))	Alunos continuam jogando as bolinhas.
19:34	21	<b>Aluno 3:</b> Quer ver, ó, ó... Tá aqui né (1) Imagine, ó, Imagine... (2)	(1) Aluno 3 aponta a placa (2) Aluno 3 é interrompido.
20:01	22	<b>Aluno 5:</b> É um quadrado assim, ó (1)	(1) Aluno 5 faz um movimento com a mão semelhante ao do aluno 3 no turno 19.
20:03	23	<b>Aluno 3:</b> Então! (1)	(1) Aluno 3 é enfático.
20:04	24	<b>Aluno 4:</b> É isso que a gente tá falando.	

A espontaneidade da fala, que é difícil de ser informada pela transcrição, é emblemática, pois indica o momento em que o aluno chega a uma formulação hipotética sobre a forma geométrica existente abaixo da placa. Independente da fala representar ou não o momento da criação da representação, é importante notar que os alunos construíram uma representação sintética do objeto escondido abaixo

da placa por meio das inferências vindas das trajetórias das bolinhas. Ou seja, eles conseguiram **criar uma representação que os permitiu compreender e organizar as percepções obtidas** ao lançar as bolinhas, elemento que consideramos como importante para caracterização da imaginação científica.

O segundo grupo analisado também consegue formular uma representação sintética do objeto:

32:42	61	<b>Aluno 6:</b> Redondo, eu acho que é redondo.	Aluno é bastante enfático em sua fala.
32:45	62	<b>Aluno 7:</b> Redondo assim (1)	(1) Aluno 7 faz um movimento acima da placa para indicar que o formato abaixo é redondo.
32:51	63	((Inaudível))	Aluno 6 começa a fazer o desenho com o formato redondo na folha em cima da placa.
32:58	64	<b>Aluno 7:</b> Mas ele é redondo, mas aqui (1) ele é fechado, quer dizer aberto.	(1) Aluno 7 aponta para o centro do círculo.
33:04	65	<b>Aluno 6:</b> Cadê uma borracha.	
33:22	66	<b>Aluno 8:</b> Mas aqui passou direto	(1) Aluno 8 indica que tem uma segunda abertura.
33:28	67	<b>Aluno 8:</b> Ó, passou de novo. Ela é aberta assim também (1)	(1) Aluno indica com a mão o caminho percorrido pela bolinha mostrando que aquela região deve ser aberta.
34:04	68	<b>Aluno 7:</b> Então, ela é redonda aqui, e aberta aqui e aqui (1)	(1) Aluno 7 indica o formato de uma figura redonda, que é vazada em dois caminhos retos e perpendiculares entre si.

De fato, é interessante notar que a criação, isto é, nesse caso a conclusão de que o objeto deve ter um formato circular com regiões vazadas, permite uma apreensão do objeto escondido que se apresenta de uma forma muito clara e que, automaticamente, é compartilhada pelos três alunos do grupo.

As formas geométricas propostas (formas quadradas e redondas) pertencem ao repertório de conhecimento dos alunos e tem por objetivo reunir as observações obtidas num quadro sintético. Ao atribuir tais formas aos supostos objetos encobertos na atividade, os alunos realizam o salto criativo. Um ponto interessante é que os alunos têm consciência da dimensão hipotética e subjetiva de sua criação.

A criação foi baseada em percepções incertas sobre o que estava abaixo da placa, e eles manifestam isso no trecho abaixo.

34:43	70	<b>Aluno 6:</b> Professor aí, <b>já descobrimos</b> (1).	(1) Aluno 6 mostra o desenho para o professor.
35:02	71	<b>Aluno 6:</b> Nós achamos que era uma coisa meio arredondada.	Aluna é interrompida.
35:22	72	<b>Professor:</b> Então.	
35:24	73	<b>Aluno 6:</b> Nós achamos que era meio arredondada e aqui passava direto e aqui e dá essa figura (1)	Alunos mostram o desenho redondo com os dois caminhos livres, isto é, vazados, ambos retos e perpendiculares.
35:28	74	<b>Professor:</b> Essa figura.	
35:30	75	<b>Aluno 6:</b> É.	
35:34	76	<b>Aluno 8:</b> Não é exatamente ela, mas é alguma coisa do tipo.	

A terceira e última etapa se baseia na existência de *deduções e verificações*, na qual **o pensamento, a partir do conhecimento construído, verifica se a variedade de experiências imediatas se encontra organizada**. A sequência de falas abaixo apresenta a discussão de um trio de alunos que realizam um debate sobre um suposto quadrado com o eixo de simetria girado a  $45^\circ$  em relação à placa de madeira, que também é quadrada. Como um dos alunos não está de acordo, um deles faz a seguinte proposta como forma de verificação.

20:06	25	<b>Aluno 3:</b> Presta a atenção... Imagine que esse quadrado... Imagine que a tábua está assim (1).	(1) Aluno 3 faz um giro de 45 graus na placa de madeira para indicar que a figura abaixo também é um quadrado e que ela deve estar na posição que a placa de madeira que esconde o objeto agora se apresenta.
20:12	26	<b>Aluno 4:</b> Então ta, fazemos assim...	
20:14	27	<b>Aluno 5:</b> Fazemos assim.	

20:16	28	<b>Aluno 3:</b> Jogando aqui ó (1).	(1) Aluno 3, em vez de jogar a bolinha por baixo da tábua, joga a bolinha na própria tábua que foi girada e que, de acordo com o aluno, deve estar agora na mesma posição que o objeto escondido estava antes, para mostrar que a trajetória é igual à que a bolinha fazia, mostrando que aquela é a posição da figura que está abaixo.
20:20	29	((Inaudível))	Aluno 3 joga a bolinha várias vezes para mostrar o comportamento desta quando bate na tábua que serve como modelo para o objeto escondido.
20:34	30	<b>Aluno 3:</b> Então, entendeu?	

Aqui fica claro que, para demonstrar ao colega que sua representação está correta, o aluno, sabendo a posição do quadrado abaixo, faz uma simulação com a placa de madeira, mostrando que, ao colocá-la na suposta posição da figura, o efeito é o mesmo.

Algo semelhante ocorre com o outro grupo de alunos. Este grupo discutia que o formato deveria ser redondo. Para mostrar isso ao colega, um aluno considera:

32:31	59	<b>Aluno 7:</b> Ó, ela bate e volta assim.	(1) Aluno 7 pega um pequeno pote de plástico redondo e começa a atirar a bolinha nele para mostrar que o efeito é o mesmo.
32:39	60	<b>Aluno 8:</b> Mas a forma que volta parece uma coisa redonda.	

É interessante notar que este grupo também busca testar sua representação. Neste caso, a verificação é feita por meio de uma analogia com algo conhecido. Usando o pote de plástico, eles avaliam se a trajetória das bolinhas que atingem esse objeto se assemelha àquelas que ocorrem quando o objeto por baixo da placa é atingido pelas mesmas. A representação sintética se manifesta no conhecimento extraído do caso dos choques das bolinhas no pote redondo.

Em ambos os grupos, as verificações são feitas pelos alunos de forma a mostrar que, a partir do conhecimento estabelecido por eles, é possível prever o

comportamento das bolinhas. Isso mostra que essa representação sintética serve, como afirma Einstein, como um “guia de acesso à realidade”, isto é, mesmo aceitando a dimensão subjetiva da representação criada, ela se mostra muito capaz de organizar os dados sensoriais e tornar uma parcela da realidade inteligível.

A análise demonstra que as três etapas definidas acima podem ser caracterizadas no processo de resolução dos alunos. Falas e ações indicaram que a construção conceitual dos alunos partiu de uma interação com o objeto que eles teriam que representar. A interação foi subjetiva, visto que os alunos não podiam ver o objeto, e baseada nas experiências vivenciadas, com a série de percepções obtidas por meio do lançamento das bolinhas. Isso permitiu aos alunos, em seguida, criar uma representação hipotética do objeto, ao ligarem suas percepções a uma forma geométrica determinada, que explicava os movimentos das bolinhas. As transcrições apontam para o fato de a proposição da representação hipotética não ser tida como segura e certa (lógica na perspectiva da clareza do pensamento), mas fruto de uma aposta imaginativa, onde argumentos de diversas naturezas são lançados para sustentá-las: conhecimento prévio de outras formas, simulações mentais, como no caso o quadrado a  $45^\circ$ . Finalmente, o processo se encerra com a necessidade de verificação. A representação sintética manifestada na proposta do formato do objeto é colocada à prova. Eles buscam criar contextos onde possam haver deduções, a partir da forma imaginada do objeto, passíveis de verificação por meio das trajetórias.

#### **IV. Considerações finais**

No início deste trabalho, buscamos ressaltar a importância de uma educação que valorizasse, além dos conteúdos conceituais, as formas de pensamento e raciocínios presentes nas ciências. No entanto, uma das maiores dificuldades quando nos inserimos nesta perspectiva de ensino, é caracterizar as diferentes etapas do pensar científico. O limitado número de trabalhos na literatura que se propõem a discutir e delimitar o processo de criação na ciência levou-nos a uma análise teórica sobre a imaginação que visou constituir um quadro teórico que nos permitisse compreender o processo criativo. Para isso, chegamos a um modelo bastante restrito desse processo, que atribuiu à imaginação o papel fundamental de criação de representações que expliquem uma parcela do mundo percebido. Poderíamos considerar outras facetas do fazer científico que envolvem habilidades criativas, como a capacidade de elaborar procedimentos experimentais para testar hipóteses, ou a capacidade de lidar com problemas de ciência, tecnologia e sociedade. No entanto,

considerando que um dos objetivos mais importantes da ciência é a capacidade de criar modelos explicativos para situações que, para serem entendidas, não podem ser reduzidas às nossas percepções, este trabalho optou em valorizar essa faceta do saber científico em detrimento às outras.

Para fundamentar a discussão teórica acerca da imaginação, realizamos um estudo sobre o pensamento de Einstein e apresentamos sua descrição de como ele elaborou suas ideias. A partir disto, foi apresentada uma caracterização do processo de criação que resumiu este processo em três momentos principais: *percepção intuitiva da realidade*, *salto criativo que liga as percepções aos conhecimentos gerais* e *as deduções e verificações*.

O passo mais importante foi verificar que esta estrutura de pensamento se reflete, em alguma medida, nas estratégias de resolução que os alunos passam ao resolver uma atividade que, como verificamos, faz apelo ao uso da imaginação. Esse ponto foi fundamental, pois o trabalho de caracterização da imaginação foi realizado com uma base demasiadamente teórica em relação às discussões de ensino. Com isso, a verificação de que o processo descrito ocorre nas reflexões dos alunos se tornou um resultado de grande relevância para este trabalho, por mostrar a possibilidade e, em alguma medida, a validade da imaginação atuar criativamente da forma pré-estabelecida pelos referenciais teóricos. Assim, consideramos que o caminho teórico traçado por este artigo se mostrou como uma perspectiva pertinente para futuras discussões sobre a imaginação criadora, revelando-se um bom referencial para a compreensão do processo de imaginação e para o estudo desse tema em sala de aula.

Essas ainda são ideias preliminares que buscam entrelaçar uma discussão teórica com considerações didático-pedagógicas. Acreditamos que essa é uma forma conveniente de se pensar inovações. No entanto, quando um mesmo trabalho se dispõe a articular áreas específicas como a epistemologia e a didática, os resultados dificilmente são conclusivos e encerram uma discussão. Isso ocorre justamente quando partimos de uma articulação que se justifica por uma falta de referências sobre determinado tema, mostrando que este é somente o início de um longo processo de investigação.

## Referências

ARRUDA, S. M. et. al. Da aprendizagem significativa à aprendizagem satisfatória na Educação em Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 2, p. 194-223, 2004.

- BACHELARD, G. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978. 82p.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Ed. Contraponto, 1996. 314p.
- BODEN, M. O que é Criatividade. In: \_\_\_\_\_. **Dimensões da criatividade**. Porto Alegre, Artmed, 1999. cap. 4, p. 81-124
- BRANNINGAN, A. **Le fondement social des découvertes scientifiques**. Paris: PUF, 1996. p. 306
- BRONOWSKI, J. **O olho visionário: ensaios sobre arte, literatura e ciência**. Brasília: Editora UnB, 1998. p.289
- BYRNE, R. **The rational imagination**. Cambridge: MIT Press, 2007. p. 254.
- CARVALHO, A. M. P. metodologia de investigación en enseñanza de Física: una propuesta para estudiar procesos de enseñanza y aprendizaje. **Revista de Enseñanza de la Física**. v. 18, n. 1, p. 29-37, 2005.
- EINSTEIN, A. **Escritos da Maturidade**. Rio de Janeiro: Editora nova Fronteira, 1994. p. 303
- \_\_\_\_\_. **Como vejo o mundo**. Rio de Janeiro: Editora nova Fronteira, 1981. p. 213.
- \_\_\_\_\_. **Lettres à Maurice Solovine**. Paris: Gauthier-Villars, 1956. p. 398
- \_\_\_\_\_. **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Editora nova Fronteira, 1982. p. 88
- \_\_\_\_\_. Física e realidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 9-22, 2006.
- \_\_\_\_\_. Geometria e experiência. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 641-662, 2005.
- \_\_\_\_\_. Indução e dedução na Física. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 663-681, 2005.
- EINSTEIN, A.; BESSO, M. **Correspondance**. Paris: Hermann, 1972. p. 521

ERICKSON, F. Qualitative Research Methods for Science Education. FRASE, B. J. e TOBIN, K. G. (Eds.) **International Handbook of Science Education**. Inglaterra: Kluwer Academic Publishers, 1998. cap. 5, p. 1112-1143.

GALEMBECK, P. T. O Turno Conversacional. In: PRETI, D. (Org.) **Análise de textos orais**. São Paulo: Humanitas, 1997. cap. 4, p. 36-47.

GARDNER, H. **The creators of the modern era**. New York: Basic Books, 1993.

GRANGER, G. G. Imaginação poética, imaginação científica. **Discurso**. n. 29, p. 3-17, São Paulo: Discurso Editorial, 1998.

\_\_\_\_\_. **A Razão**. Lisboa: Edições 70, 1985. p.131

GURGEL, I. **A imaginação científica como componente do entendimento: subsídios para o ensino de Física**. 2006. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo.

HADAMARD, J. **Essai sur la Psychologie de l'Invention dans le Domaine Mathématique**. Paris: Gauthier-Villars, 1959. p. 149

HESSE, M. **Models and analogies in Science**. Indiana: University of Notre Dame Press, 1970. p.184

HOLTON, G. **Scientific Imagination**. Harvard University Press, 1979. p. 312

LAPLATINE, F.; TRINDADE, L. **O que é imaginário**. São Paulo: Brasiliense, 2003. p. 82

LOCATELLI, R. J. **Uma análise do raciocínio utilizado pelos alunos ao resolverem os problemas propostos nas atividades de conhecimento físico**. 2006. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo.

MERLEAU-PONTY, J. **Einstein**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993. p. 274

MATHEWS, M. Models in Science and in Science Education. **Science & Education**, v. 16, n. 7-8, p. 607-629, 2007.

MILLER, A. **Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty that Causes Havoc**. New York: Basic Books, 2001. p.421

\_\_\_\_\_. **Insights of genius**. New York: Springer, 1996. p. 329

NERSESSIAN, N. J. **Creating Scientific Concepts**. Cambridge: MIT Press, 2008. p. 251

\_\_\_\_\_. Maxwell and “the method of physical analogy”: model-based reasoning, generic abstraction, and conceptual change. In: MALAMENT, D. (Ed.) **Reading Natural Philosophy**. Chicago: Open Court, 2002. p. 129-166.

PATY, M. A. Teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica. In: ENCONTRO DA REDE PARANAENSE DE PESQUISA EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA, III, 2005, Curitiba. **Anais...**

\_\_\_\_\_. a criação científica segundo Poincaré e Einstein. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 41, p. 157-192, 2001.

\_\_\_\_\_. **Einstein Philosophe**. Paris: PUF, 1993. p. 584

PIAGET, J.; GARCIA, R. **Psychogenesis and the History of Science**. Columbia: Columbia University, 1989. p. 214

PIETROCOLA, M. A Matemática como estruturante do pensamento físico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p. 93-114, 2002.

PRETI, D. **O discurso oral culto**. São Paulo: Humanitas, 1997. p. 227

SILVA, C. C. The role of models and analogies in the electromagnetic theory: a historical case study. **Science & Education**, v. 16, n. 7-8, p. 835-848, 2007.

SIQUEIRA, M. R. **Do visível ao indivisível: uma proposta de ensino de física de partículas elementares para a Educação Básica**. 2006. Dissertação (Mestrado) - IFUSP, São Paulo.

SUTTON, C. Ideas sobre la Ciencia e ideas sobre el Lenguage. **Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales**, n. 12, p. 8-32, 1997a.

\_\_\_\_\_. **Words, science and learning**. Philadelphia: Open University Press, 1997b.

VIENNOT, L. Raisonement commun en Physique: relations fonctionnelles, chronologie et causalité. In: VIENNOT, L. ; DEBRU, C. (Org.) **Enquêt sur le Concept de Causalité**. Paris: PUF, 2003, cap. 2, p. 7-30

YORE, L. et. al. Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 6, p. 689-725, 2003.